



การสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศไมโครสตริปเพียงต้นเดียว

โดย

1. นายสุรเชษฐ์ เหล่าสิงห์ B4610694
2. นายเอกนรินทร์ พลแสง B4705895

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษารายวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม 427494

และ วิศวกรรมโทรคมนาคม 427499

ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2550

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงการ	การสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศไมโครสตริปเพียงต้นเดียว
จัดทำโดย	นายสุรเชษฐ์ เหล่าสิงห์ นายเอกนรินทร์ พลแสง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	3/2550

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันสายอากาศที่มีระบบการสวิตช์ลำคลื่นได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเพราะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ ซึ่งในการสวิตช์ลำคลื่นของสายอากาศโดยปกติจะต้องใช้สายอากาศแบบอาร์เรย์หรือสายอากาศแบบแถวลำดับจึงจะสามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ แต่เนื่องจาก ต้องต้นทุนสูงและอุปกรณ์มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงทำให้เราสนใจที่จะพัฒนาสายอากาศที่มีการสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศต้นเดียวซึ่งเราให้ความสนใจสายอากาศไมโครสตริปเพราะมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างและมีราคาถูก ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และ อื่นๆอีกมาก

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการศึกษาออกแบบสายอากาศการสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศเพิงต้นเดี่ยวที่ ย่านความถี่ 2.45 GHz จะไม่สามารถสำเร็จลงได้หากคณะผู้จัดทำไม่ได้รับความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแนวความคิดในการทำโครงการ ความรู้และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงใคร่ ขอแสดงความขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านซึ่งบุคคลเหล่านั้นประกอบด้วย

อาจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และแนะนำในทุกๆ ด้าน รวมถึงการให้แนวคิด การดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน และแนะแนวทางในการเขียนรายงาน ให้แก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

อาจารย์ ดร.พีรพงษ์ อุฑารสกุล อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้าน รวมถึงการสอนการใช้งานโปรแกรมจำลองผลเบื้องต้น และให้ข้อมูลเกี่ยวกับเรื่อง การทำสายอากาศ เพื่อช่วยในการสร้างแบบจำลอง

คุณมนิรัตน์ ทุมพงษ์ เลขานุการประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำหรับคำแนะนำในการจัดทำ รายงาน

คณาจารย์ทุกท่านที่เกี่ยวข้องในการให้คำปรึกษาทางด้านต่างๆ แก่คณะผู้จัดทำ

คุณประพล จาระตะคุ วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ที่ช่วยเป็นธุระในทุกๆ ด้าน

พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่ให้การสนับสนุน

เพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือที่ดีทุกๆ ด้านตลอดจน กำลังใจที่มอบให้แก่คณะผู้จัดทำตลอดมา

สุดท้ายผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งเป็นผู้ให้โอกาสทางการศึกษาและคอยสนับสนุน รวมทั้งกำลังใจที่คอยมอบให้ตลอดมาอย่างหาที่เปรียบมิได้

ผู้จัดทำ

นายสุรเชษฐ์ เหล่าสิงห์

นายเอกนรินทร์ พลแสง

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 ขั้นตอนการทำงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	3
2.2 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)	3
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
2.3.1 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)	10
2.3.2 ไดโอด (Diode)	13
2.4 พินไดโอดหลักการสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศไมโครสตริปต้นเดียวโดยใช้	18
2.5 วิธีการวัดคุณสมบัติของสายอากาศทางภาคปฏิบัติ	20
2.6 สรุป	30
บทที่ 3 การสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศต้นเดียว	
3.1 การออกแบบสายอากาศ	31
3.2 ผลจากการจำลองแบบจากโปรแกรม	34
3.3 สรุปผล	49

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 การสร้างตัวต้นแบบสวิตช์ล้าคั่นโดยใช้สายอากาศต้นเดียวและผลการวัดจริง

4.1 ขั้นตอนการสร้างสายอากาศไมโครสตริปตัวต้นแบบ	50
4.2 ขั้นตอนการสร้างการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	52
4.3 หลักการทำงานของวงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์	54
4.4 รูปแบบการวัดในระนาบต่างๆ	50
4.5 สรุปผล	67

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป	68
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	68
5.3 ข้อเสนอแนะ	69

บรรณานุกรม	70
------------	----

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เทคโนโลยีทางการติดต่อสื่อสารโทรคมนาคม จัดได้ว่ามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทั้งในโลกปัจจุบัน และในโลกอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดต่อสื่อสารในย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งมีใช้งานในระบบสื่อสารต่างๆ มากมาย เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารดาวเทียม ระบบวิทยุสื่อสาร ระบบเรดาร์ อีกทั้งยังนำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านการศึกษา งานด้านสำรวจทรัพยากร งานด้านธุรกิจ งานด้านการแพทย์และทางการแพทย์ ดังนั้นในปัจจุบันการสื่อสารไร้สายได้เพิ่มพูนความสำคัญขึ้นเป็นลำดับซึ่งจะเห็นได้จากการแพร่หลายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีการรับสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียมรวมถึงการพัฒนาการใช้งานของการติดต่อสื่อสารดังกล่าว โดยในส่วนของ การสื่อสารไร้สายนั้นมีหลายระบบด้วยกัน

ดังนั้น สายอากาศถือว่ามีผลอย่างหนึ่งที่สามารถช่วยในการสื่อสาร รับ-ส่งข้อมูล เนื่องจาก ระบบสายอากาศที่สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ในทิศทางต่างๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย แต่โดยทั่วไปแล้วการกระทำดังกล่าวต้องอาศัยสายอากาศแฉะลำดับที่มีจำนวนสายอากาศมากกว่าหนึ่งต้นขึ้นไปซึ่งเป็นการสิ้นเปลือง และยิ่งไปกว่านั้นการกระทำดังกล่าวยังต้องการเครือข่ายก่อรูปลำคลื่นที่ต้องอาศัยตัวเลื่อนเฟสซึ่งก่อให้เกิดความซับซ้อนในการสร้างตัวต้นแบบ ดังนั้นโครงการนี้จะพัฒนาการสวิตช์ลำคลื่นด้วยสายอากาศเพียงต้นเดียว ซึ่งตัวต้นแบบที่จะถูกสร้างขึ้นนี้ประกอบไปด้วยสายอากาศไมโครสตริปที่ถูกออกแบบไว้ที่ความถี่ 2.45 GHz และวงจรควบคุมการสวิตช์ลำคลื่นที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยไม่ต้องอาศัยเครือข่ายของการก่อรูปลำคลื่นแต่อย่างใด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างตัวต้นแบบของสายอากาศที่มีความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียวร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานเพื่อช่วยกำหนดทิศทางของลำคลื่น

1.3 ขอบเขตการทำงาน

- 1.3.1 ศึกษา และออกแบบสายอากาศไมโครสตริป
- 1.3.2 ศึกษา และออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมทิศทางของลำคลื่น
- 1.3.3 สร้างตัวต้นแบบ และเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 1 และ 2
- 1.3.4 ทดสอบตัวต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษา ค้นคว้า หาข้อมูลการสวิตช์ลำคลื่นด้วยสายอากาศต้นเดี่ยว
- 1.4.2 เขียนโครงการ และเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.4.3 ศึกษา และออกแบบสายอากาศ
- 1.4.4 ศึกษา และออกแบบลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมทิศทางของลำคลื่น
- 1.4.5 หาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้
- 1.4.6 สร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมทิศทางลำคลื่น ของสายอากาศไมโครสตริป
- 1.4.7 นำวงจรที่สร้างขึ้นมาทดสอบกับโปรแกรม และทดสอบภาคปฏิบัติ
- 1.4.8 วัดผล และทำการปรับปรุงโครงงาน
- 1.4.9 นำเสนอโครงงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

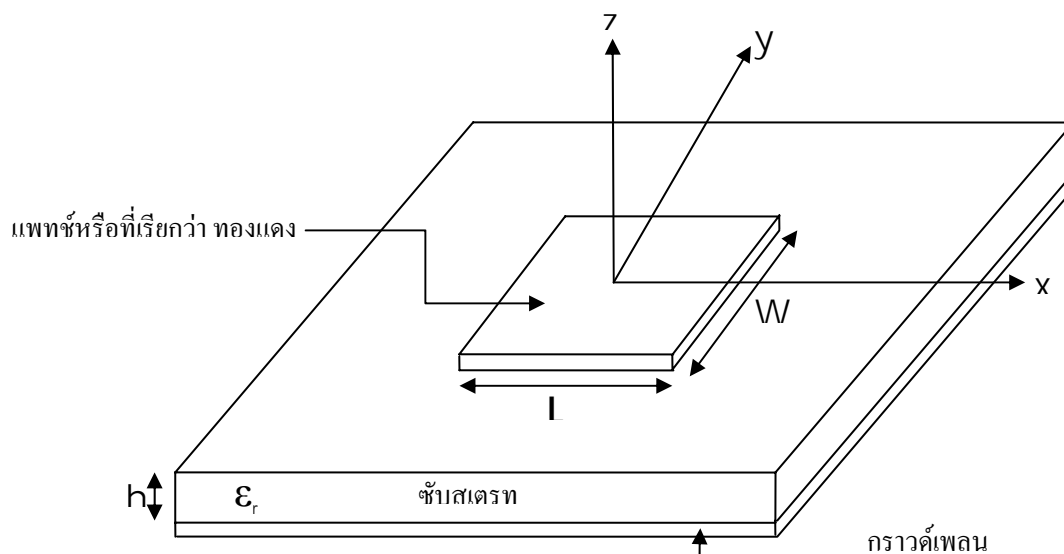
ในบทที่ 2 นี้ในส่วนแรกจะกล่าวถึงสายอากาศไมโครสตริป ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสายอากาศ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในส่วนที่ 2 จะกล่าวถึง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิด และการนำอุปกรณ์เหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมทิศทางของสายอากาศ ในส่วนที่ 3 กล่าวถึงสายอากาศไมโครสตริป การนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้พินไดโอดไปควบคุมทิศทางของลำคลื่น และหลักการทำงานของสายอากาศ ในส่วนที่ 4 เป็นการอธิบายขั้นตอน วิธีการวัดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ ข้อควรระวังในการวัด จะวัดอย่างไร รูปแบบการวัดจะเป็นอย่างไร จะได้อธิบายในลำดับต่อไป

2.2 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

ในส่วนนี้ เราจะมารู้จักกับ สายอากาศไมโครสตริป ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และตัวอย่างสายอากาศไมโครสตริป ที่ถูกสร้างขึ้นในปัจจุบัน

สายอากาศแบบไมโครสตริปได้เริ่มถูกใช้งานครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. ๒๕๑๓ แม้ว่าแนวความคิดครั้งแรกจะเกิดขึ้นโดย G.A. Deschamps ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ. ๒๔๙๖ และถูกจด สิทธิบัตรไปตั้งแต่ในปี พ.ศ. ๒๔๙๘ สาเหตุที่ในช่วงแรกไม่มี การพัฒนาไปใช้งาน เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำมาก แต่มีข้อดีตรงที่ขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะกับงานด้านความถี่สูง UHF ขึ้นไป กล่าวได้ว่าสายอากาศชนิดนี้เป็นการพัฒนารูปแบบหนึ่งของสายอากาศเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดเล็กเช่น โทรศัพท์มือถือ ลักษณะอุปกรณ์จึงแบนคล้ายกับแผ่นทองแดงทั่วไป และเนื่องจากถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับความถี่ใดความถี่หนึ่งโดยเฉพาะ รูปร่างจึงอิงตามความเหมาะสมของความถี่ใช้งานเป็นหลัก และรูปร่างจะแตกต่างกันไป เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้ออกแบบได้ง่ายที่สุด จึงมีนักวิจัยให้ความสนใจออกแบบเป็นอย่างมาก [1]

สายอากาศไมโครสตริปจะประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เราเรียกว่า แพทช์ (Patch) ซึ่งเป็นตัวนำ ซึ่งถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระนาบกราวด์ที่มีความบาง และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่า ซับสเตรท (Substrate) ของสารไดอิเล็กตริก ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

โดยที่ W คือ ความยาวของแพทช์

L คือ ความกว้างของแพทช์

h คือ ความสูงของฉาบสเตรท

ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ของฉาบสเตรท

คุณสมบัติที่พิเศษกว่าสายอากาศชนิดอื่นๆ มีดังนี้[2]

- น้ำหนักเบา
- ขนาดเล็ก
- สามารถนำมาดัดแปลงรูปร่างให้สมดุลย์ได้
- ราคาถูก
- การผลิตง่าย
- สามารถทำให้บางได้

- มีค่า scattering cross section ต่ำ
- ไม่ต้องมี cavity backing
- ติดตั้งได้ง่ายกว่า

ข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป[2]

- แบนด์วิดท์แคบ (Narrow bandwidth)
- มีการสูญเสียมากซึ่งส่งผลให้ได้อัตราขยาย (Gain) ต่ำ
- สายอากาศไมโครสตริปส่วนใหญ่จะมีการแผ่กระจายคลื่นเพียงครึ่งระนาบ

ซึ่งคาดว่าต่อไปในอนาคตจะมีการนำสายอากาศไมโครสตริปมาใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

เนื่องจากความหนาของ ไมโครสตริปบางมาก คลื่นที่เกิดขึ้นภายในสาร ไดอิเล็กทริก (คือสารที่อยู่ระหว่างสายอากาศแบบแพทช์และกราวด์เพลน) สามารถพิจารณาได้จากการสะท้อนกลับของคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาถึงขอบของสตริปซึ่งเป็นเพียงกลุ่มเล็กๆที่แสดงถึง พลังงานที่ถูกแพร่กระจาย (Fringing Field) ดังนั้น สายอากาศที่พิจารณาจึงมีประสิทธิภาพต่ำ

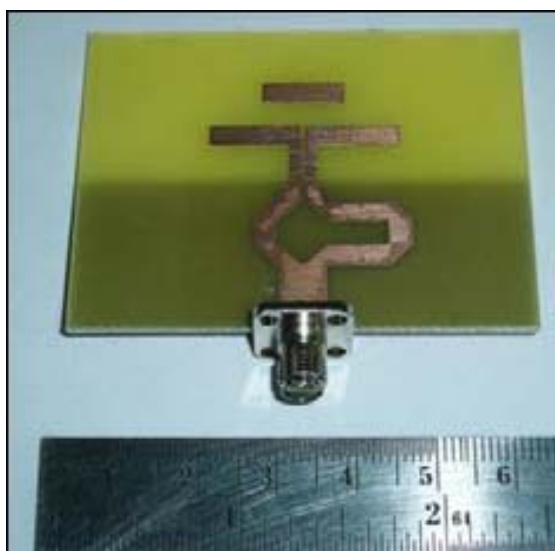
ประเภทของสายอากาศแบบไมโครสตริป[1]

สายอากาศแบบไมโครสตริปมีหลายประเภท แต่แบ่งตาม การใช้งานได้สามประเภทดังนี้

1. สายอากาศแบบแผ่กระจายคลื่นตามแนวกว้าง เพื่อการสื่อสาร ตามแนวกว้างของแผ่นทองแดง สายอากาศแบบนี้จะมีทิศทางการส่งสัญญาณตั้งฉากกับแผ่นทองแดง ดังรูปที่ 2.2
2. สายอากาศที่แผ่กระจายคลื่นตามแนวยาวเพื่อการสื่อสารในทิศทางตัดขวางของแผ่นทองแดง สายอากาศแบบนี้จะมีทิศทางการส่งสัญญาณตามแนวเดียวกับแผ่นทองแดง ดังรูปที่ 2.3
3. สายอากาศอื่นๆเป็นสายอากาศที่ออกแบบมาเฉพาะการใช้งานชนิดหนึ่งๆอาจมีมากกว่าสองทิศทางหรืออาจปรับเปลี่ยนทิศทางได้ตามความถี่ที่ใช้งาน



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสายอากาศแบบไมโครสตริปที่แพร่กระจายคลื่นตามแนวกว้าง[1]



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสายอากาศแบบไมโครสตริปที่แพร่กระจายคลื่นตามแนวยาว [1]

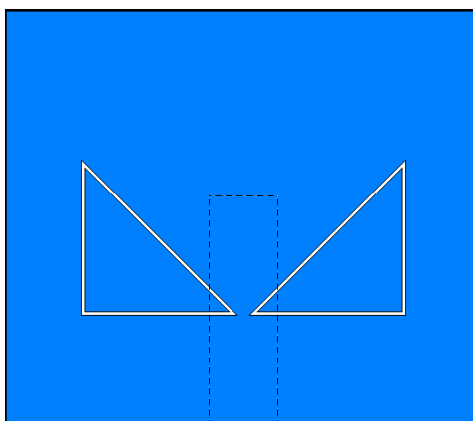
แผ่นทองแดงนี้มีหลายชนิดในประเทศไทย แล้วแผ่นทองแดงชนิดีพอกซ์หรือแผ่นที่หนา 1.6 มิลลิเมตร ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 4.5 มีใช้อย่างแพร่หลายที่สุดเพราะราคาถูกและสามารถหาได้ง่าย แบ่งย่อยได้เป็น 2 ชนิดคือ แบบด้านเดียวและแบบสองด้านตามการใช้งาน สามารถหาได้ตามแหล่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป แต่แผ่นทองแดงชนิดีพอกซ์มีข้อเสีย คือการส่งสัญญาณที่ไม่ดีมากนัก[1]

โดยปกติแล้วสายอากาศจะอิงตามความยาว $1/2, 1/4$ ของความยาวคลื่น เมื่อเปลี่ยนรูปแบบมาเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปแล้วก็ยังคงใช้วิธีการเดิมอยู่ แต่จะต้องคำนึงถึงผลกระทบจากชนิดของแผ่นทองแดงด้วยผลกระทบนี้เรียกว่าความยาวคลื่นสัมพันธ์ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นทองแดง ตัวอย่างสายอากาศแบบไมโครสตริปพื้นฐานแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 จากตัวอย่างในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่า สายอากาศแบบไมโครสตริปพื้นฐาน เป็นรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายก็นำแผ่นทองแดงมาเจาะทองแดงรอบนอกออกให้เหลือทองแดงเป็นสี่เหลี่ยม กว้างยาวประมาณ $1/2$ ของความยาวคลื่นที่ต้องการ ก็สามารถนำไปใช้งานได้แล้ว แต่ความยาวคลื่นนี้ต้องคิดแบบความยาวคลื่นสัมพันธ์กับชนิดของแผ่นทองแดงด้วย สายอากาศแบบพื้นฐานนี้คือใช้งานได้กับช่องสัญญาณแคบมาก ประกอบกับมีขนาดใหญ่และประสิทธิภาพต่ำจึงมักถูกนำมาเพียงเพื่อเรียนรู้เบื้องต้นของสายอากาศแบบระนาบเท่านั้น แต่ไม่ถูกนำไปใช้งาน[1]

ตัวอย่างของสายอากาศ

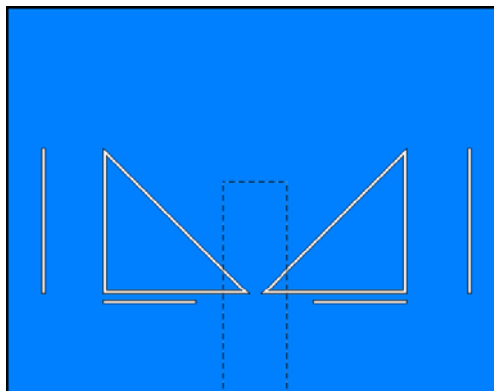
ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของสายอากาศ ที่ถูกพัฒนาซึ่ง จะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบไมโครสตริปเป็นที่ยอมรับมาก และสามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้เรื่อยๆ ไม่มีที่สิ้นสุด

1. สายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก[3]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด[3]

สายอากาศไมโครสตริปจากเดิมเป็นสายอากาศ รูปสามเหลี่ยมมุมฉากปกติดังรูปที่ 2.4 จากนั้นได้มีการปรับปรุงสายอากาศเพื่อให้มีแอมเพดซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีขึ้น โดยการเพิ่มส่วนของช่องเปิดที่เรียกว่า พาราซิติคแบบช่องเปิด ให้กับสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก จากการวิเคราะห์พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้มากกว่าเท่าตัว โดยที่คุณสมบัติอื่น ๆ ของสายอากาศยังเหมือนเดิมทุกประการ โดยสามารถสรุป ได้ว่าสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดในตำแหน่งที่เหมาะสมจะมีแอมเพดซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีกว่าสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด

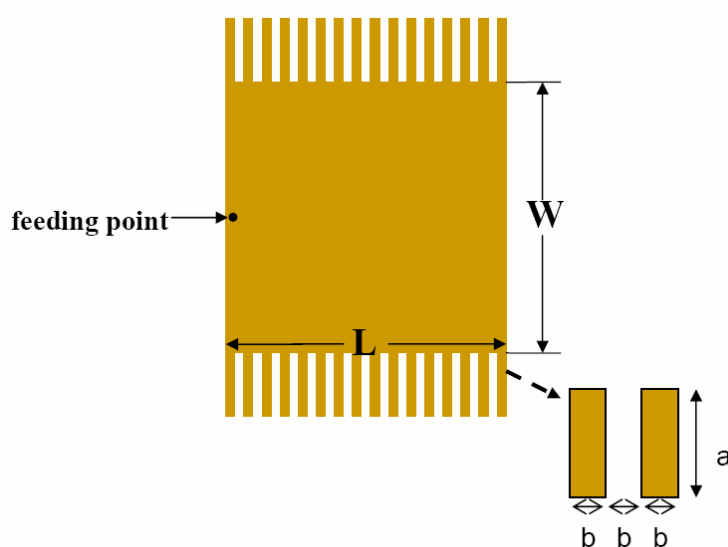


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสายอากาศที่มีพาราซิติค แบบช่องเปิดทั้งสองด้าน[3]

จากผลที่ได้การเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแส (Current Density) จะแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของกระแสจะมีมากบริเวณใกล้ ๆ มุมฉากของสามเหลี่ยม เนื่องจากบริเวณสายอากาศแบบช่องเปิดจะถูกกระตุ้นโดยตรงจากสายไมโครสตริป จึงสามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปได้ แต่พาราซิติคแบบช่องเปิดจะถูกกระตุ้นจากสายอากาศแบบช่องเปิดเป็นส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นบริเวณที่เป็นพาราซิติคจะไม่มีการแพร่กระจายคลื่นออกไป

2. สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมที่มีโครงสร้างแบบซี่และร่อง[4]

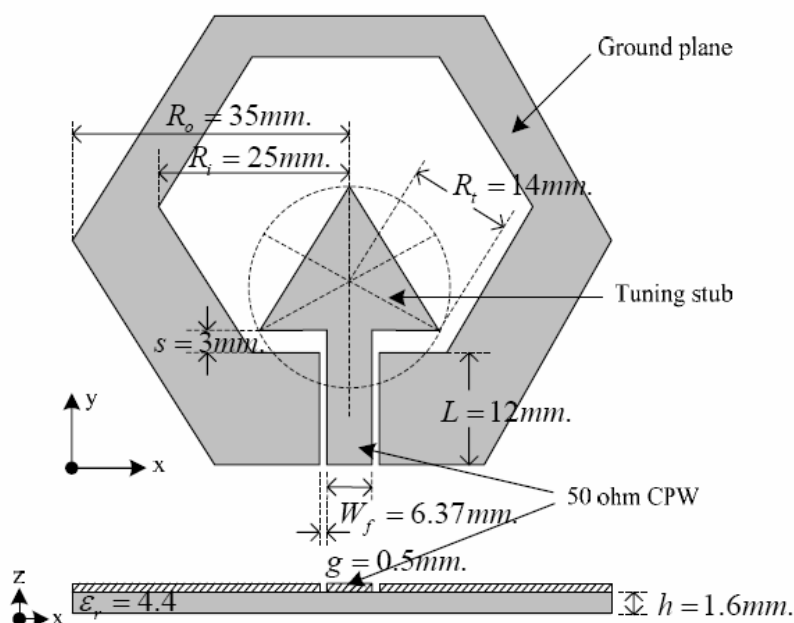
เป็นการใส่ฟันปลาที่มีขนาดของซี่และร่องระหว่างฟันเท่าๆ กันเข้าไปที่ขอบของแพทช์ในด้านที่ไม่มีการกระจายคลื่นทำให้กระแสไหลไปตามเส้นตรง สำหรับโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบแพทช์สี่เหลี่ยมที่มีซี่และร่องมีลักษณะดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป แบบแพทช์สี่เหลี่ยมที่มีซี่และร่อง[4]

การเพิ่มความยาวของซี่และร่องสามารถลดความยาวของสายอากาศลงได้แต่ทำให้ค่าแบนด์วิดท์แบบอิมพีแดนซ์ลดลงด้วย เมื่อความกว้างของซี่และร่องเพิ่มขึ้น ค่าแบนด์วิดท์แบบอิมพีแดนซ์ และอิมพีแดนซ์ขาเข้ามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่เมื่อความยาวของซี่และร่องเพิ่มขึ้น ค่าแบนด์วิดท์แบบอิมพีแดนซ์ และอิมพีแดนซ์ขาเข้า มีแนวโน้มลดลงมาก

3. สายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบแถบความถี่กว้าง[5]



รูปที่ 2.7 สายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบแถบความถี่กว้าง[5]

จากการทำงานผลที่ได้โดยสรุปคือ เมื่อเพิ่มความยาวของ L_t ในการปรับแบนด์วิดท์ ทั้งในรูปแบบที่มีสลับในรูปแบบต่างๆ ที่ผ่านมามีผลให้แบนด์วิดท์เลื่อนลงมาด้านความถี่ต่ำ และเมื่อเพิ่มรัศมีวงในหกเหลี่ยมด้านเท่า (R_i) หรือการเพิ่มขนาดของร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าให้กว้างขึ้นนั่นเอง ซึ่งจะมีผลให้แบนด์วิดท์เลื่อนลงมาด้านความถี่ต่ำเหมือนกัน แต่เมื่อเราเพิ่มรัศมีวงนอกหกเหลี่ยมด้านเท่า (R_o) หรือการเพิ่มขนาดของพื้นที่กราวด์หรือการเพิ่มขนาดของสายอากาศที่ใหญ่ขึ้นนั่นเอง ซึ่งมีผลให้แบนด์วิดท์เลื่อนขึ้นทางด้านความถี่สูง ซึ่งไม่ใช่คุณสมบัติที่ต้องการ แต่ความต้องการคือต้องการให้สายอากาศมีขนาดเล็กและแบนด์วิดท์ยังคงเดิม

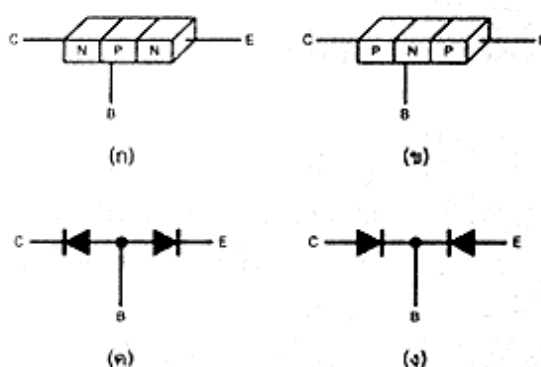
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงงานนี้เราจะใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวสวิทช์ซึ่งสวิทช์ในทางอิเล็กทรอนิกส์มีมากมายหลายชนิด เช่น ทรานซิสเตอร์ ไดโอด สวิทช์ทั่วไป เป็นต้น ในรายงานเล่มนี้จะกล่าวถึงทรานซิสเตอร์และไดโอด เป็นสวิทช์ในการควบคุมทิศทางการแผ่กระจายคลื่น ซึ่งมีคุณสมบัติที่ต้องการในโครงงานนี้โดยจะกล่าวรายละเอียดดังต่อไปนี้

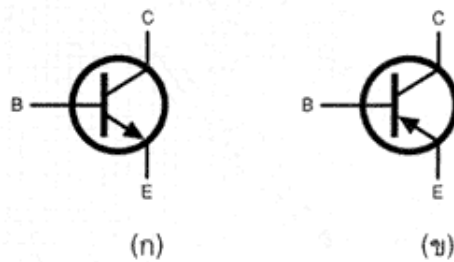
2.3.1 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

ทรานซิสเตอร์ (Transistor ตัวย่อ Tr หรือ Q) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำสาร P และสาร N 3 ชั้นนำมาต่อเรียงกัน ดังรูปที่ 2.8 โดยเรียงต่อกันได้ 2 แบบ ดังรูป ก และ ข ในรูป ก. ใช้สาร N 2 ชั้น และสาร P 1 ชั้น โดยมีสาร P อยู่ตรงกลาง จึง เรียกทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ว่า NPN และต่อขาออกมา 3 ขา เป็นขา B (เบส), C (คอลเลกเตอร์), E (อิมิตเตอร์) โดยที่ขา B ต่อออกมาจากสาร P ส่วนในรูปที่ 2.8 ข. ตรงกันข้ามกับรูปที่ 1 ก. และเรียกว่าชนิด PNP ส่วนขาที่ต่อออกมาเช่นเดียวกับรูปที่ 2.8 ก. ด้วย โครงสร้างดังกล่าวนี้ จะเหมือนกับ ไดโอด 2 ตัวชนกันดังรูป ค. และ ง. โดยใช้สาร P หรือ N ตรงกลางเป็นตัวร่วมกัน

จากรูปที่ 2.8 สามารถเป็นสัญลักษณ์เพื่อให้ดูง่าย ๆ ดังรูปที่ 2.9 ในรูป ก เป็นของชนิด PNP สังเกตที่ลูกศรของขา E จะชี้ ออก ส่วนชนิด PNP แสดงในรูป ข. สัญลักษณ์ต่างกันที่ขา E คือ ลูกศรที่ขา E จะชี้เข้า

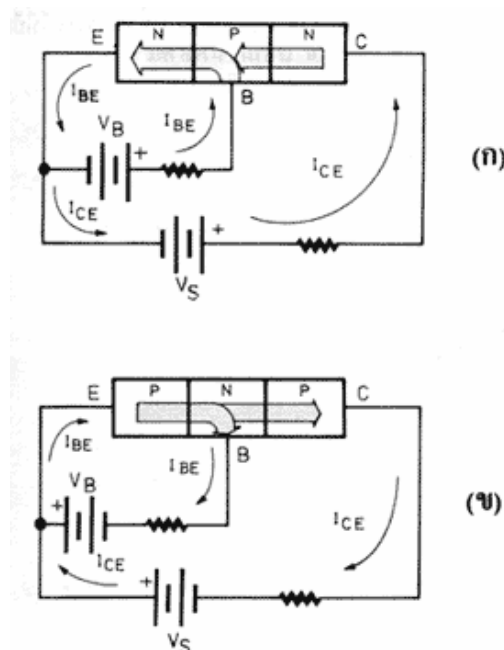


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ในรูป ก. และ PNP ในรูป ข. ส่วน ค. และ ง. แสดงการเปรียบเสมือน ไดโอด 2 ตัวชนกัน



รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์ ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด

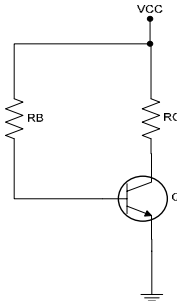
หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์พอจะอธิบายได้โดยการต่อวงจรดังรูปที่ 2.10 ด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน ในรูปที่ 2.10ก. เป็นการต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN พิจารณาทางด้านขา B และขา E จะเป็นการต่อในลักษณะไบแอสตรง ให้กับสาร P และ N ด้วย V_B (เหมือนไดโอด) จึงมีกระแสส่วนหนึ่งไหลเรียกว่า I_{BE} ซึ่งเป็นผลให้ทางด้านขา C เกิดกระแสไหลตามไปด้วย คือ มีกระแสวิ่งจากแบตเตอรี่ V_S ไปสาร N ไปสาร P และไปสาร N ที่ E ครบวงจรอีก กระแสส่วนที่วิ่งตาม I_{BE} นี้มีชื่อว่า I_{CE} และกระแสที่วิ่งออกมาจากขา E มี 2 ส่วนคือ ส่วนขาของ I_{BE} และ I_{CE} ส่วนในรูปที่ 2.10 ข. ก็มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับของ ชนิด PNP เพียงแต่กลับขั้วแบตเตอรี่เท่านั้น และเมื่อหากว่า I_{BE} หยุดไหล I_{CE} จะหยุดไหลตามไปด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.10 แสดงการเกิดกระแสเมื่อมีการป้อนกระแสขาต่าง ๆ

การวิเคราะห์วงจรทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ทางด้านไฟตรง

1. Fix Bias แบบไม่มี R_E



รูปที่ 2.11 วงจรทรานซิสเตอร์ แบบ Fix Bias

วิเคราะห์ทาง Loop Input

$$V_{CC} - V_{RB} - V_{BE} = 0$$

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

$$V_{CC} - V_{BE} = I_B R_B$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (2.1)$$

วิเคราะห์ทาง Loop output

$$V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} = 0$$

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$$

$$V_{CC} - V_{CE} = I_C R_C$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad (2.15)$$

การประยุกต์ทรานซิสเตอร์

ในการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานพอจะแบ่งเป็นหมวดใหญ่ ๆ ได้ 2 หมวด คือ

1. ในวงจรนาฬิกาหรือวงจรขยายสัญญาณ
2. ในวงจรดิจิทัลหรือวงจรสวิทช์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์

2.3.2 ไดโอด(Diode)

หลักการทำงานของไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างหนึ่งที่แพร่หลายในหมู่ผู้ออกแบบหรือเกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเป็นตัวนำกระแสได้ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือกล่าวอย่างง่าย ๆ ว่าไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเองได้ทิศทางเดียวเท่านั้น แต่ในขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าแรงดันตกคร่อมมันค่าหนึ่ง โดยทั่วไปสำหรับไดโอดซิลิกอนแล้วจะมีค่าอยู่ราว 0.7 โวลต์

ปกติการให้แรงดันกับไดโอดนั้น ถ้าให้แรงดันบวกอยู่ที่ขั้วแอนโนด และขั้วลบอยู่ที่ขั้วคาโทด เราเรียกว่าการไบแอสตรง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอดได้และถ้าเราให้แรงดันสลับทิศกันกระแสไหลไม่ได้ ซึ่งเราเรียกว่าการไบแอสตรง และถ้าเราให้แรงดันไบแอสกลับมากขึ้น ๆ มันจะนำกระแสได้ใหม่ จุดที่มันนำกระแสได้ใหม่เราเรียกว่า แรงดันซีเนอร์ ขนาด ของไดโอดแปรไปได้มากโดยมีไดโอดขนาดเล็กเพียงทนกระแสได้เป็นมิลลิแอมป์จนถึง ขนาดไดโอดที่ทนกระแสได้หลายร้อยแอมแปร์ที่ใช้ในงานทางไฟฟ้ากำลัง

จากลักษณะการทำงานของไดโอดในการเป็นสวิตช์ให้นำกระแสได้ด้านเดียว การใช้งานของไดโอดจึงต้องพิจารณาสถานการณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. แรงดันตกคร่อมไดโอด แรงดันตกคร่อมไดโอดจะพิจารณากันในขณะที่ไดโอดนำกระแส ไดโอดที่ใช้สารซิลิกอนจะมีค่าตกคร่อมโดยประมาณ 0.7 โวลต์ แต่ให้กระแสไหลมากขึ้นแรงดันตกคร่อมอาจมากขึ้นเป็น 1 โวลต์ก็ได้

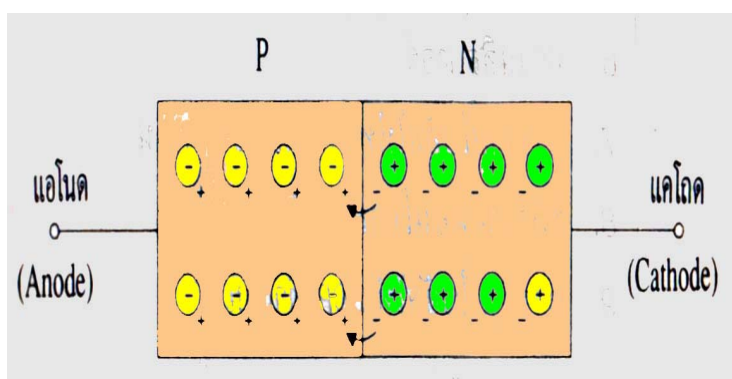
2. แรงดันซีเนอร์ หรือแรงดันพัง จะเป็นตัวบอกขนาดแรงดันที่นำไปใช้ได้ ซึ่งถ้าเราไบแอสกลับด้วยค่าแรงดันนี้จะมีกระแสไหลกลับทางได้ และถ้าหากไม่มีการจำกัดกระแสไดโอดก็จะเสียหายได้แต่ถ้ามีการจำกัดกระแส แรงดันตกคร่อมก็จะมีค่าเท่ากับแรงดันซีเนอร์ ทำให้เราอาจคุณสมบัติส่วนนี้ไปใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันได้

3. กระแสใช้งานสูงสุดในขณะไบแอสตรงทำให้ไดโอดนำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด กระแสส่วนนี้จะทำให้ไดโอดเกิดความร้อนขึ้น ถ้าหากว่าให้กระแสส่วนนี้มาก ๆ เกินกว่าที่ไดโอดจะทนได้ ไดโอดก็จะเสียหายได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวไดโอดจะสะสมขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นในกรณีที่ใช้ไดโอดที่กระแสสูงจะต้องมีการระบายความร้อนด้วยการติดแผ่นระบายความร้อนให้กับไดโอด

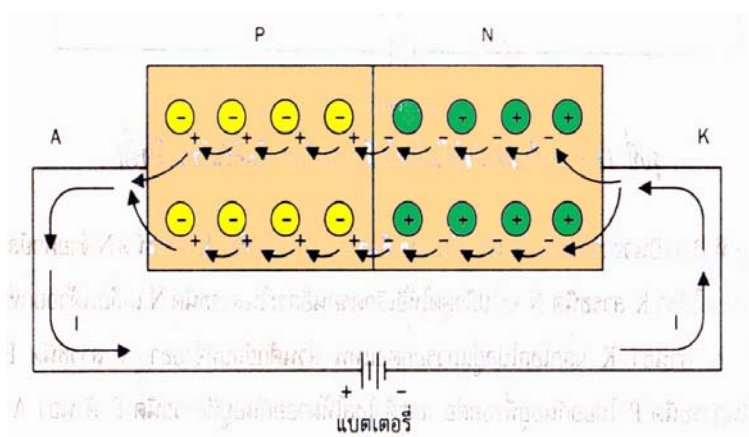
4. กระแสรั่วไหลขณะไบแอสกลับ เนื่องจากการทำงานของไดโอดมีลักษณะคล้าย สวิตช์และถ้าจะเหมือนสวิตช์ยิ่งขึ้น จะต้องใช้คุณสมบัติขณะไบแอสกลับให้มีกระแสไหลน้อยที่สุด ในทางปฏิบัติแล้วจะมีกระแสไหลได้นิดหน่อย กระแสส่วนนี้อาจมีค่าอยู่ในช่วงของไมโครแอมแปร์ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับ

กระแสขณะไบแอสตรง หม้อแปลงทำหน้าที่ลดแรงดันลงมาให้พอเหมาะตามต้องการของผู้ใช้ แรงดันทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะยังคงเป็นแรงดันไฟสลับอยู่ ในกรณีนี้ไดโอดจะนำกระแสได้ ในขณะที่แรงดัน V_s อยู่ทางด้านบวกและจะไม่นำกระแสเมื่อแรงดัน V_s อยู่ด้านลบ กระแสที่ไหลผ่านโหลดจึงเป็นกระแสห้วง ๆ ตามจังหวะของแรงดันไฟสลับ

ไดโอด (Diode) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่เกิดจากนำสารกึ่งตัวนำชนิด N กับสารกึ่งตัวนำชนิด P มาต่อกัน สารกึ่งตัวนำชนิด P จะมีโฮลมากกว่าปกติ สารกึ่งตัวนำชนิด N จะมีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าปกติเมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาต่อชนกัน ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 2.12 ขณะเชื่อมต่อสาร P และสาร N จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเข้าหาโฮล



รูปที่ 2.13 เกิดแบตเตอรี่สมมุติ หรือดีฟิชั่นริจิน ขึ้นระหว่างรอยต่อ

จากรูปเมื่อเชื่อมต่อสาร P และสาร N เข้าด้วยกัน จะเกิดการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนบริเวณรอยต่อของสารชนิด N ไปรวมตัวกับโฮลบริเวณรอยต่อของสารชนิด P ทำให้รอยต่อสารชนิด N ขาดอิเล็กตรอนไปเกิดเป็นโฮลขึ้น ส่วนรอยต่อสารชนิด P มีอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น เป็นผลให้รอยต่อ PN เกิดเป็นค่าแบตเตอรี่เรียกว่าดีพลีชันริจิน ด้านสารพี มีขั้วเป็นลบ ด้านสารชนิด N มีขั้วเป็นบวก ดีพลีชันริจินที่เกิดขึ้นตรงรอยต่อ เพราะอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่มาตรงรอยต่อสาร P มีพลังงานไม่พอไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้อีกจึงหยุดค้างบริเวณรอยต่อ ส่วนรอยต่อสารชนิด N เมื่ออิเล็กตรอนหลุดไปเกิดเป็นโฮลขึ้นมา และไม่มีอิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ เข้ามาแทนที่ เพราะอิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ ที่อยู่ถัดเข้าไปด้านในมีพลังงานไม่พอที่จะเคลื่อนที่ ดีพลีชันริจินเสมือนความต้านทานระหว่างรอยต่อของไดโอดการนำไดโอดไปใช้งานต้องมีการจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัวไดโอด เพื่อควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแสในตัวไดโอดมีวิธีการจ่ายไบอัส 2 วิธี คือการจ่ายไบอัสตรงหรือฟอร์เวิร์ด และไบอัสกลับหรือ รีเวิร์ด

การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอด

การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอดคือ การจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตัวไดโอดแบบถูกขั้ว โดยจ่ายสัถย์บวกให้สารชนิด P และจ่ายลบให้สารชนิด N มีผลทำให้ไดโอดนำกระแสมีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด ลักษณะการนำกระแสจงบิอัสตรงให้ไดโอด คือจ่ายบวกให้สารชนิด P จ่ายลบให้สารชนิด N สัถย์ลบที่จ่ายให้ขา K สารชนิด N จะไปผลักอิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ให้วิ่งเคลื่อนที่ ในเวลาเดียวกันสัถย์บวกที่จ่ายให้ขา A สารชนิด P มีอำนาจดึงดูดอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ให้เข้ามาหา และผลักโฮลให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าเรื่อย ๆ เข้ามารวมตัวกับโฮลสารชนิด P เคลื่อนที่จนออกจากขา A ไปหาสัถย์บวกที่แบตเตอรี่ไปยังขา ของสารชนิด N เกิดกระแสไฟฟ้าให้ไหลในตัวไดโอดตลอดเวลาถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรอยต่อมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไบอัสให้ไดโอด ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสต่ำกระแสไฟฟ้าไหลน้อย ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสสูงกระแสไฟฟ้าไหลมากแรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ไดโอดต้องจ่ายแรงดันไบอัสให้มากกว่าค่าดีพลีชันริจิน ระหว่างรอยต่อ ค่าดีพลีชันริจินระหว่างรอยต่อมีค่าต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตไดโอด สารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มันเนียม มีค่าประมาณ 0.2 โวลต์ ถึง 0.4 โวลต์ สารกึ่งตัวนำชนิด ซิลิกอน มีค่าประมาณ 0.5 โวลต์ ถึง 0.8 โวลต์ แรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ไดโอดต้องจ่ายเกิน 0.4 โวลต์ ไดโอดชนิดเจอร์มันเนียม ต้องจ่ายเกิน 0.8 โวลต์ ในไดโอด ชนิดซิลิกอน ไดโอดจึงนำกระแส

การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด

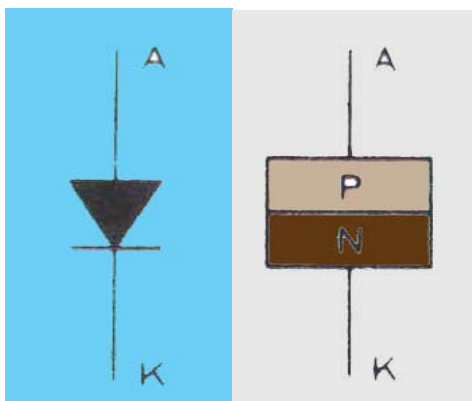
การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด คือการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตัวไดโอดแบบกลับขั้ว โดยจ่ายสัถย์บวกให้สารชนิด N และการจ่ายสัถย์ลบให้สารชนิด P มีผลทำให้ไดโอด ลักษณะการทำงานจากรูปเป็นการจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด คือจ่ายสัถย์บวกให้ขา K สารชนิด N จ่ายสัถย์ลบให้ขา A สารชนิด P สัถย์บวกที่จ่ายให้

ขา K สารชนิด N จะไปดึงดูดให้อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N เคลื่อนตัวออกห่างจากรอยต่อมาออกกันอยู่ที่สาร N ด้านขา K ผลักไล่ไปอยู่แถวรอยต่อแทน ส่วนสัณฐานที่จ่ายขา A สารชนิด P จะไปผลักให้อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด P ไปออกกันที่รอยต่อ และดึงโฮลให้มาออกกันอยู่ที่สารชนิด P ด้านขา A ทำให้บริเวณรอยต่อสาร PN เกิดดีฟิชั่นริจินกว้างมากขึ้น เพราะรอยต่อสารชนิด P มีอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น และรอยต่อสารชนิด N มีโฮลมากขึ้น ไม่มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด

การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด มีผลทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อเพิ่มมากขึ้น ด้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ไม่มีกระแสไหลในตัวไดโอดแต่จะมีกระแสรั่วซึม หรือลิกเกจเคอร์เรนต์ ไหลบ้างเล็กน้อยกระแสรั่วซึมนี้ไม่ถือว่าเป็นกระแสไหลในตัวไดโอด ถ้ากระแสรั่วซึมจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่นำมาผลิตไดโอด สารซิลิกอนมีกระแสรั่วซึมน้อย สารเจอร์มันเนียมมีกระแสรั่วซึมมาก

ไดโอดและการใช้งาน

ไดโอดประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 2 ตอน สารชนิด P มีขาต่อออกมาเป็นขา แอนโนด หรือขา A และสารชนิด N มีขาต่อออกมาเป็นขา แคโทด หรือขา K เมื่อถูก สร้างขึ้นเป็นไดโอด จะมีรูปร่างตัวถังแตกต่างกัน แต่มีโครงสร้างที่เหมือนกัน

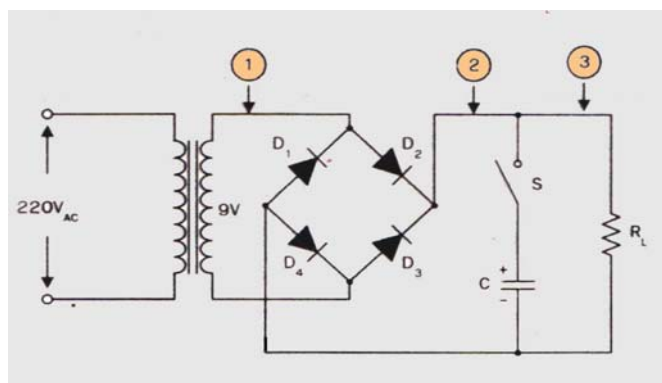


รูปที่ 2.14 โครงสร้าง สัญลักษณ์ของไดโอด

จากรูปแสดงลักษณะของไดโอด ด้าน A สารชนิด P แทนสัญลักษณ์ด้วยรูปสามเหลี่ยม ด้านขา K สารชนิด N แทนสัญลักษณ์ด้วยขีด รูปร่างของไดโอดแต่ละแบบจะมีเครื่องหมายหรือคำนิยามแสดงเอาไว้ ส่วนมากเครื่องหมายหรือคำนิยามมักถูกแสดงไว้ที่ขา K การใช้งานของไดโอดนั้นกว้างขวางมากมาย สามารถใช้งานได้กับความถี่ต่ำ พวกแรงดันไฟสลับที่ใช้ตามบ้าน ความถี่ของสัญญาณเสียง จนถึงความถี่สูง ๆ พวกความถี่วิทยุ ความถี่ไมโครเวฟ ไม่ว่าไดโอดจะถูกใช้งานในความถี่ย่านใดก็ตาม มีหลักการทำงานเหมือนกัน คือจ่ายไบอัสตรงนำกระแสจ่ายไบอัสกลับไม่นำสภาวะ หน้าทีของไดโอดเมื่อนำไปใช้งานกับความถี่จะแปลงแรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรง

วงจรการใช้งาน

วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ คือวงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นนั่นเอง แรงดันไฟตรงกระแสที่ส่งออกมาเอาต์พุตเป็นชนิดเต็มคลื่น



รูปที่ 2.15 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์

จากรูปเป็นวงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ การทำงานเมื่อแรงดันไฟสลับช่วงบวก ถูกป้อนออกมาจากขั้วบนของขดทุติยภูมิขั้วล่างของขดทุติยภูมิเป็นลบ ไดโอด D_2 และ D_4 ได้รับไบอัสตรงนำกระแส มีกระแสไหลผ่าน D_2 ผ่าน R_L ผ่าน D_4 ครบวงจรมีศักย์ตกคร่อม R_L ขณะไม่ต่อ C ได้สัญญาณตามจุดที่ 2 ถ้าต่อ C เข้าวงจรตามจุด ที่ 3 C เริ่มประจุแรงดันทันทีจนแรงดันเพิ่มถึงสูงสุด C หยุดประจุแรงดัน เมื่อแรงดันตำแหน่ง วงจร เริ่มลดลง C จะคายประจุผ่าน R_L

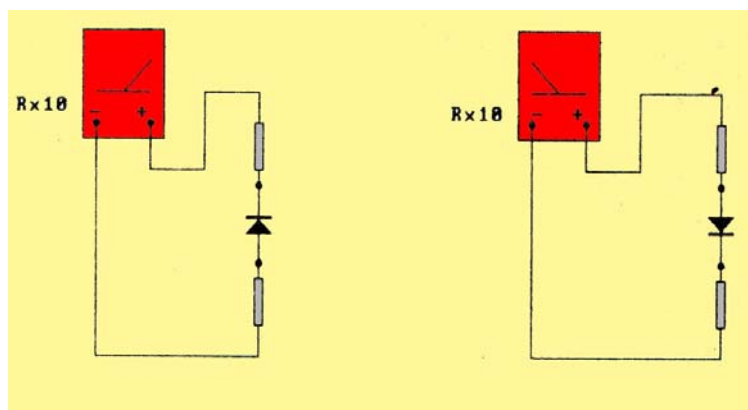
การวัดและทดสอบไดโอด

การวัดคุณสมบัติไดโอด สามารถสรุปได้ดังนี้

ตั้งมิเตอร์เรนจ์โอห์ม $\times 10$ นำเอาไปวัดไดโอดโดยวงจรนั้นไม่มีไฟหรือวัดนอกวงจร วัดแล้วลองสลับสายดู เข็มมิเตอร์ต้องขึ้นครั้งหนึ่งไม่ขึ้นครั้งหนึ่งจึงจะถือว่าดี หากขึ้นทั้งสองครั้งถือว่าเสียในลักษณะรั่วหรือชอร์ต เข็มมิเตอร์ไม่ขึ้นเลยถือว่าเสียในลักษณะการขาด ในกรณีที่ไดโอดไม่สามารถนำกระแสกลับได้หรือไม่สามารถเป็นสวิตช์กับความถี่ ไม่สามารถใช้มิเตอร์ตรวจสอบได้ อาการดังกล่าวนี้ถือว่าไดโอดขาดหรือโอเพ่นเซอร์กิต (Open Circuit) เหมือนกัน แต่โอเพ่นเซอร์กิตกับความถี่ถือว่าไดโอดเสียเช่นกันเพราะทำงานไม่ได้

การวัดหาขาไดโอด

การวัดหาขาของไดโอด ปกติไดโอดจะมีขา 2 ขาคือ ขาคาโทด กับขาแอนโนด ในตัวจริงของขาคาโทดจะทำเครื่องหมายขีดหรือจุด (สมัยก่อน) เอาไว้ให้สังเกต ในขณะที่สัญลักษณ์เขียนเป็นหัวลูกศรเอาไว้ ในกรณีที่เครื่องหมายดังกล่าว เลื่อนไปเราสามารถวัดหาขาของไดโอดได้ด้วยวิธีนี้ ตั้งมิเตอร์เรนจ์โอห์มหรือที่เรียกกันง่าย ๆ ว่า $R \times 10$ วัดแบบเดียวกันกับการวัดคุณสมบัติของไดโอดด้วยการสลับสายวัดแล้วเข็มมิเตอร์ขึ้นครั้งไม่ขึ้นครั้ง ให้วัดกลับมาในจังหวะที่เข็มมิเตอร์ขึ้นแล้วสังเกตสายมิเตอร์ หากสายมิเตอร์บวก จับอยู่กับขานั้นเป็นขาคาโทด หรือเป็นเนื้อสาร N เพราะว่าการจ่ายไฟแบตเตอรี่ภายในกับขั้วของมิเตอร์กลับกันอยู่ตามรูป



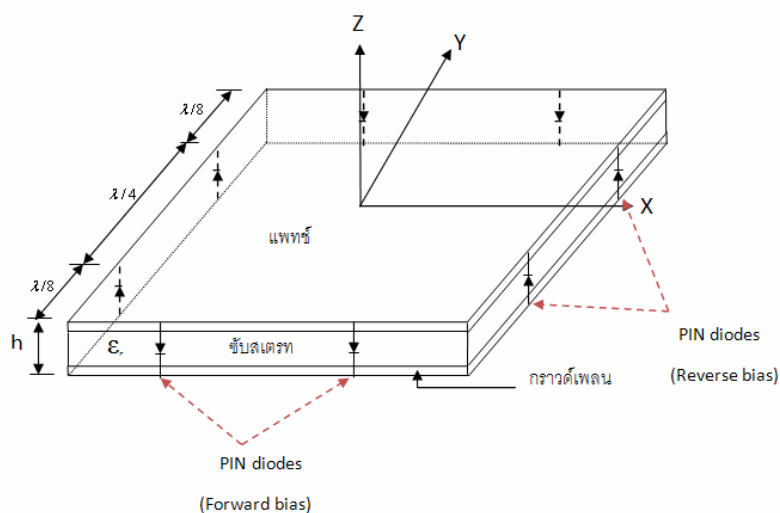
รูปที่ 2.16 แสดงวิธีการวัดไดโอดเข็มมิเตอร์ต้องขึ้นครั้งหนึ่งไม่ขึ้นครั้งหนึ่ง

2.4 หลักการสวิตช์ลatches โดยใช้สายอากาศไมโครสตริปตันเดียวโดยใช้พินไดโอด[6]

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปตันเดียวด้วย พินไดโอด ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทางการแผ่กระจายคลื่น การทำงานของสายอากาศไมโครสตริปตันเดียวด้วยพินไดโอดควบคุมทิศทางว่ามีลักษณะรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นอย่างไรได้ก็กรณี ที่ทิศทางมีข้อดีและข้อเสียอะไรบ้างดังที่จะกล่าวต่อไป

หลักการทำงาน

สายอากาศไมโครสตริปนี้สามารถเปลี่ยนโหมด TM_{200} และ TM_{020} โดยใช้การสวิตช์ด้วยพินไดโอด เมื่อมีการประยุกต์ใช้การไบอัสตรง เมื่อพินไดโอดเชื่อมต่ออยู่ที่ขอบหน้าและขอบหลัง(ขนานไปในแนวแกน X) ทำการปิดวงจร ด้านที่เชื่อมต่อสายอากาศนี้จะปรับเปลี่ยนมาใช้โหมด TM_{200} และการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางแนวแกน X อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการประยุกต์ใช้การไบอัสกระแสกลับ พินไดโอดที่เชื่อมต่ออยู่ที่ขอบซ้ายและขอบขวา(ขนานไปในแนวแกน y) ก็จะทำการปิดวงจร เช่นกัน การไบอัสแรงดันนั้นจะใช้แรงดันบวก 5 โวลต์และลบ 5 โวลต์ในการทำทดสอบนี้โดยใช้ร่วมกับสัญญาณที่ ฟีด(feed) เข้าที่สายอากาศ เมื่อทำการไบอัสกระแสตรงและแรงดันที่ +5 โวลต์และกระแส 10 มิลลิแอมป์โดยต่อพิน ไดโอดกับขอบหน้าและขอบหลังของสายอากาศจะทำการปิดวงจร ณ ตำแหน่งนี้ส่วนด้านอื่นๆที่ไม่ได้ทำการปิดวงจร ก็จะทำการ เปิดวงจรส่งผลให้รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางแนวแกน X และในทางกลับกัน ลักษณะรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางแนวแกน Y ซึ่งเกิดจากการที่เราป้อนไบอัสกระแสตรงและแรงดันที่ -5 โวลต์และกระแส 10 มิลลิแอมป์โดยต่อ pin ไดโอดกับขอบซ้ายและขอบขวาของสายอากาศจะทำการปิดวงจร ณ ตำแหน่งนี้ส่วนด้านอื่นๆที่ไม่ได้ทำการปิดวงจร นั่นเอง ในการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปต้นเดียวด้วยพินไดโอดจะใช้ช่วงความถี่ในการทดสอบคือ 1.95 GHz ในวิธีนี้สามารถทิศทางการแผ่กระจายคลื่นได้ 2 ทิศทาง 2 กรณี คือ ซ้าย,ขวาและหน้า,หลัง เท่านั้นซึ่งในข้อจำกัดนี้ทำให้เรามีความคิดที่จะบังคับทิศทางการแผ่กระจายคลื่นให้หลากหลายขึ้นโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้หลักการทำงานคล้ายคลึงกันดังที่จะกล่าวต่อไป



รูปที่ 2.17 สายอากาศไมโครสตริปต้นเดียวโดยใช้พินไดโอด

2.5 วิธีการวัดคุณสมบัติของสายอากาศทางภาคปฏิบัติ

● การทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ

การวัดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศนั้น จะทำการวัดค่าต่างๆ ด้วยเครื่อง Network Analyzer และจะนำผลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมว่ามีความใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด เพื่อเป็นการยืนยันว่าโปรแกรมสามารถนำมาใช้ในการออกแบบสายอากาศเพื่อนำไปใช้งานจริงได้ในกรณีที่เป็นแบบองค์ประกอบเดี่ยว (1- Element) นั้นเราจะนำค่าพารามิเตอร์บางอย่าง เช่น ค่าอัตราขยาย (Gain) และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของสายอากาศ เป็นต้น เปรียบเทียบกับแบบโมโนโพล เพื่อให้เห็นถึงข้อดีของการออกแบบสายอากาศต้นเดียว และแสดงว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นสามารถไปใช้งานจริงได้ในย่านความถี่ 2.4 -2.5 GHz

ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่จำเป็นต้องทำการวัด คือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss: S_{11}) ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR) ค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input impedance) ซึ่งจะดูจากแผนภูมิสมิท (Smith chart) อัตราขยาย (Gain) และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของสายอากาศนั้นจะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region)

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ

1. สายอากาศต้นแบบ
2. เครื่อง Network Analyzer
3. เครื่อง Spectrum Analyzer
4. เครื่อง Power Generator

ข้อควรระวังในการวัดการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

1. จัดตั้งอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการใช้เพื่อไม่สายพันกันระหว่างหมุน
2. ควรสวมรองเท้าทุกครั้งในการวัดเพราะที่สายอากาศมีการจ่ายไฟเข้าไปด้วยอาจทำให้ไฟดูดได้
3. ควรปิดแหล่งกำเนิดความถี่ที่ใกล้เคียง

- การทดลองวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss : S_{11}) ของสายอากาศ

ค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นค่าพารามิเตอร์ที่จะเป็นตัวบ่งบอกว่าสายอากาศที่นำมาทดลองวัดนั้นสามารถที่จะนำไปใช้งานจริงได้หรือไม่ การพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับนั้นเราจะดูว่าที่ความถี่ที่จะนำไปใช้งานนั้นสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับจะต้องมีค่าต่ำกว่า -10 dB ลงไปสายอากาศนั้นจึงสามารถนำไปใช้งานจริงได้ ซึ่งค่าการสูญเสียย้อนกลับจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศได้

ขั้นตอนการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ

1. ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 3 GHz
2. เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการเซตเครื่องใหม่ เมื่อมาใช้งานในภายหลัง
3. ต่อสายอากาศต้นแบบเข้าที่ Port 1 ของเครื่อง Network Analyzer
4. ทำการวัด S_{11} โดยเลือก Format และกดเลือก Log mag
5. ทำการเลือก Marker 1 ที่ความถี่ 2.45 GHz

- การทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input impedance) ของสายอากาศ

อิมพีแดนซ์ด้านเข้าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ เพราะว่าหากสายอากาศที่ทำการทดลองมีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าไม่แมตช์กับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณแล้ว สายอากาศก็ไม่สามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงๆได้ เพราะจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นขึ้นภายในสายนำสัญญาณและจะส่งผลทำให้เครื่องส่งเกิดความเสียหายได้ ดังนั้น สายอากาศต้นแบบที่นำมาทำการทดลองวัดจะต้องมีอิมพีแดนซ์ด้านเข้าเท่ากับ หรือใกล้เคียง 50 โอห์ม มากที่สุด โดยสามารถดูจากแผนภูมิสมิท (Smith chart)

ขั้นตอนการวัดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า

- 1) ทำตามขั้นตอนการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ
- 2) เปลี่ยน Format และกดเลือก Smith chart

- การทดลองวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) ของสายอากาศ

ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง หมายถึง ค่าอัตราส่วนของแรงแดันของคลื่นที่ส่งไปและคลื่นที่สะท้อนกลับมายังเครื่องส่ง คุณสมบัติที่จำเป็นต้องพิจารณา คือ สายอากาศที่ดีและสามารถนำไปใช้งานได้จริงจะต้องมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งไม่เกิน 1.5

ขั้นตอนการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

- 1) ทำตามขั้นตอนการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ
- 2) เปลี่ยน Format และกดเลือก SWR

- การทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของสายอากาศ

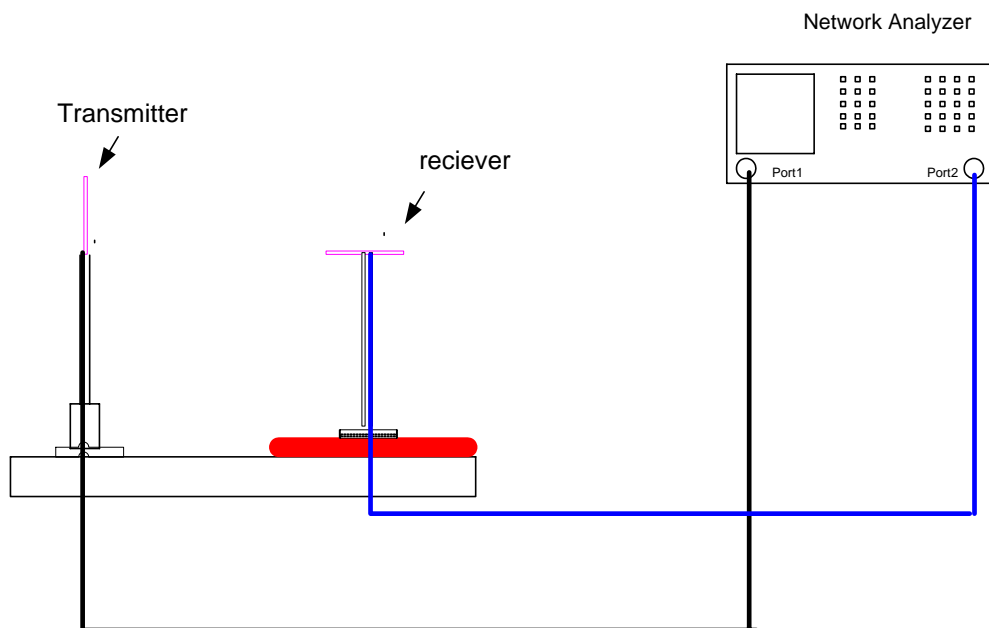
การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ จะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) โดยสามารถคำนวณจากสมการ

$$R > \frac{2D^2}{\lambda}$$

- เมื่อ R คือ ระยะของสนามระยะไกล
- D คือ ความยาวสูงสุดของสายอากาศ
- λ คือ ความยาวคลื่นของสายอากาศ

การตั้งค่าพารามิเตอร์ในเครื่องวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้า

1. ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 3 GHz
2. เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการเซตเครื่องใหม่ เมื่อมาใช้งานในภายหลัง
3. ต่อสายอากาศโมโนโพลเข้าที่ Port 1 ของเครื่อง Network Analyzer
4. ต่อสายอากาศดินแบบเข้าที่ Port 2 ของเครื่อง Network Analyzer
5. ทำการวัด S21 โดยเลือก Format และกดเลือก Log mag
6. ทำการเลือก Marker 1 ที่ความถี่ 2.45 GHz



รูปที่ 2.18 รูปแบบการวัดการแผ่กระจายกำลังงาน

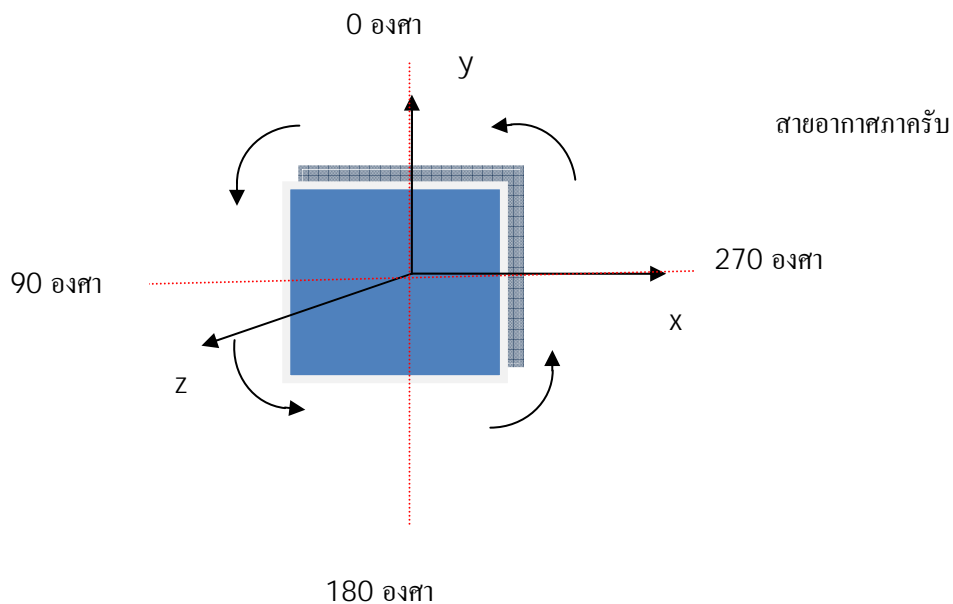
ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ ในทางทฤษฎีนั้นสายอากาศที่เป็นแบบแถวลำดับนั้นจะต้องมี ลำคลื่นของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่แคบกว่าในกรณีที่เป็นแบบองค์ประกอบเดี่ยว และจะส่งผลถึงค่าอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศอีกด้วย

ซึ่งในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศนั้น เราจะทำการเปลี่ยนการวางสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับ เพื่อเป็นการทำการทดสอบการโพลาไรซ์ของคลื่น ซึ่งในทางทฤษฎีนั้นกล่าวไว้ว่า การเดินทางของคลื่นทางภาคส่งและภาครับนั้นจะต้องมีการโพลาไรซ์ของคลื่นที่ตรงกัน ถึงจะทำให้สายอากาศทางภาคส่งและภาครับสามารถที่จะทำการรับส่งคลื่นถึงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในทางปฏิบัติกลุ่มผู้ทำโครงการ ได้นำสายอากาศที่สร้างขึ้นจริงในการวัดเพื่อให้ได้ผลการวัดที่ตามแบบจำลองโดยแบบจำลองของสายอากาศผลที่ได้จากแบบจำลองเป็นรูป 3 มิติ ดังนั้น กลุ่มผู้ทำโครงการจึงทำการวัดเพื่อให้ได้ ทั้ง 3 มิติ เหมือนกันซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

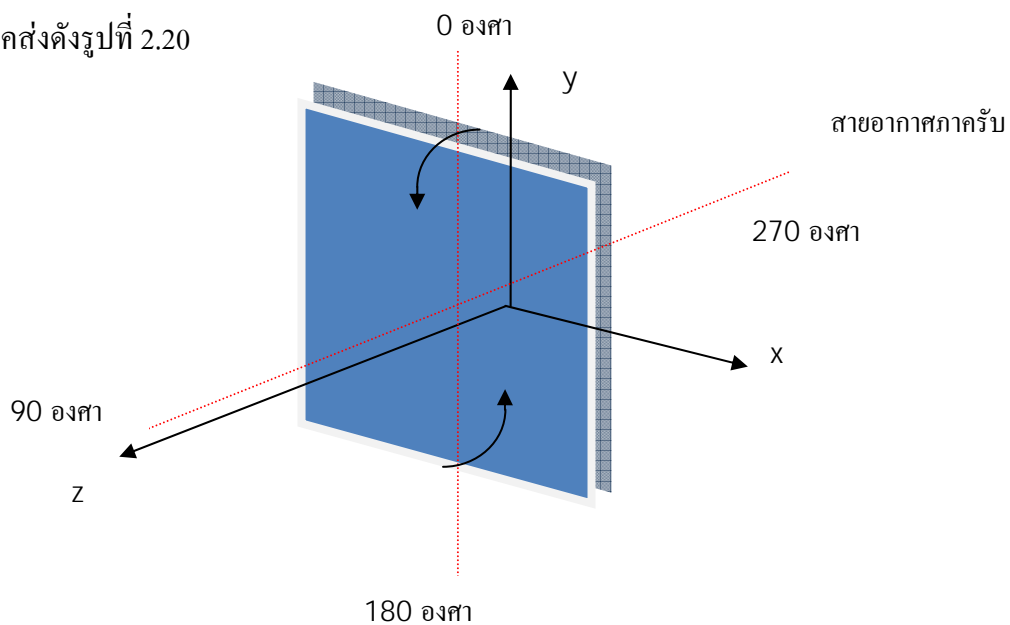
- รูปแบบการวัดในระนาบต่างๆ

1. ระนาบ xy คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูป โดยกำหนดให้ทิศที่ 0° หันให้ตรงกับสายอากาศภาคส่งดังรูปที่ 2.19



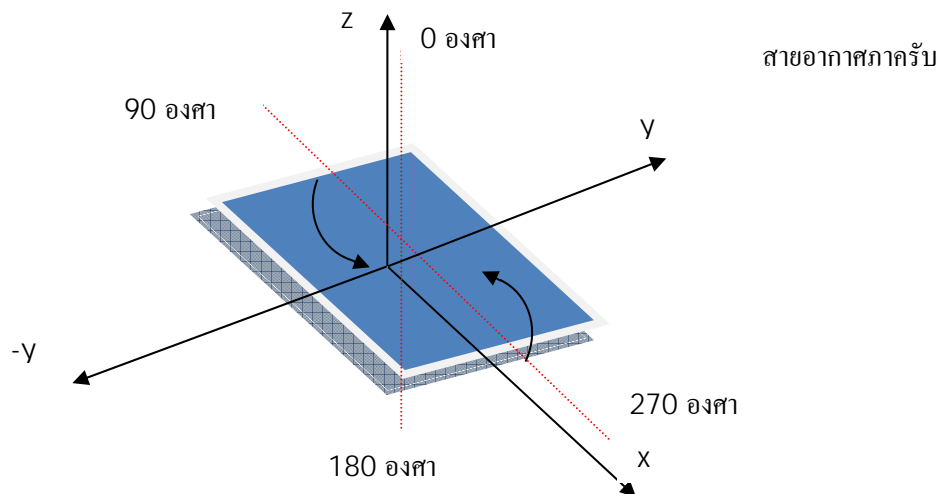
รูปที่ 2.19 รูปแบบการวัดโดยวางในระนาบ xy

2. ระนาบ yz คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูป โดยกำหนดให้ทิศที่ 0° หันให้ตรงกับสายอากาศภาคส่งดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 รูปแบบการวัดโดยวางในระนาบ yz

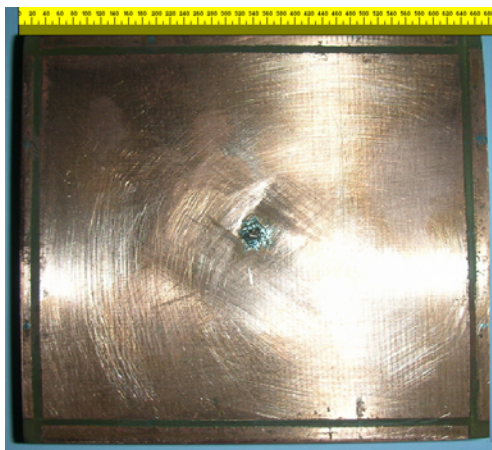
3. ระนาบ zx คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูป โดยกำหนดให้ทิศที่ 0° หันให้ตรงกับสายอากาศภาคส่งดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 รูปแบบการวัดโดยวางในระนาบ zx

- อุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริป

1. ชุดสายอากาศตัวต้นแบบ (Antenna)



รูปที่ 2.22 ชุดสายอากาศตัวต้นแบบ

2. เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานไฟฟ้า (Network Analyzer)



รูปที่ 2.23 เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานไฟฟ้า (Network Analyzer)

3 Chamber Room



รูปที่ 2.24 Chamber Room

4. สายส่งสัญญาณ(CFD200 อิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม)



รูปที่ 2.25 สายส่งสัญญาณ

5.ชุดหัววัดสัญญาณชนิด SMA

- ขั้นตอนการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

การวัดค่าพารามิเตอร์สนาม ของอุปกรณ์ เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานไฟฟ้า (Network Analyzer)

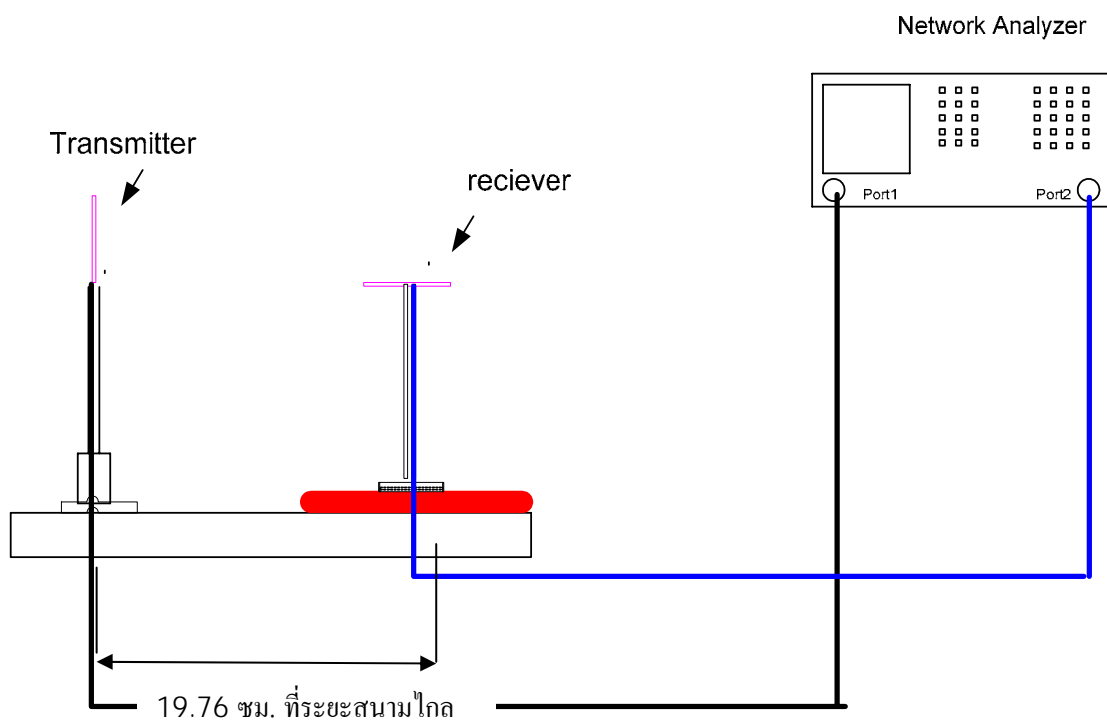
1. ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆใน chamber room ดังรูปที่ 2.4.5 โดยวางสายอากาศในแนวระนาบ xy โดยที่นี้ทำการปิดสวิตช์วงจรทั้งหมด

2. ทำการ Calibrate เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานไฟฟ้า (Network Analyzer) ที่ความถี่ 2.45 GHz

3. ต่อสายอากาศต้นแบบเข้าที่ Port 2 และต่อสายอากาศตัวส่ง เข้าที่ Port 1 ของเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานไฟฟ้า (Network Analyzer)

4. ทำการวัดที่โหมด S_{21} โดยเลือก Format

5. ทำการเลือก Marker 1 เพื่อดูค่าผลของพารามิเตอร์



รูปที่ 2.26 แบบจำลองการวัดภาคสนาม

6. อ่านค่าพารามิเตอร์ จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้า(Network Analyzer) และปรับเปลี่ยนค่ามุม ที่ 0° ถึง 360° โดยเพิ่มค่ามุมทีละ 4 องศาแต่ละมุม

7. ทำการบันทึกผล

8. ทำการเปลี่ยนระนาบสายอากาศภาครับโดยวางสายอากาศในแนวระนาบ yz

9. ทำตามขั้นตอนที่ 6 และ 7 จนครบ

10. ทำการเปลี่ยนระนาบสายอากาศภาครับโดยวางสายอากาศในแนวระนาบ zx

11. ทำตามขั้นตอนที่ 6 และ 7 จนครบ

12. เมื่อทำการวัดเสร็จสมบูรณ์แล้วจัดเก็บอุปกรณ์

- การวัดค่าอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ

การวัดอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดก็คือวิธีที่เรียกว่า วิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (Reference Antenna Method) หรือวิธีการเปรียบเทียบ (Comparison Method) หรือวิธีการแทน (Substitution Method) ซึ่งเปรียบเทียบกำลังงานที่รับได้ โดยสายอากาศอ้างอิง (P_{ref}) กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ (P_{test}) ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ทดสอบจะหาได้จากสมการ

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{ref}} G_{ref}$$

หรือ

$$G_{test}(dB) = P_{test}(dB) - P_{ref}(dB) + G_{ref}(dB)$$

โดยที่ G_{test} คือ อัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทดสอบ

G_{ref} คือ อัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง

P_{test} คือ กำลังงานที่สายอากาศที่ต้องการทดสอบรับได้

P_{ref} คือ กำลังงานที่ส่งออกจากสายอากาศอ้างอิง

ขั้นตอนการวัดค่าอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ

1. ทำการ Calibrate เครื่อง Network Analyzer ที่ความถี่ตั้งแต่ 2 GHz ถึง 3 GHz
2. เลือกคำสั่ง Save เพื่อจะได้ไม่ต้องทำการเซตเครื่องใหม่ เมื่อมาใช้งานในภายหลัง
3. ต่อสายอากาศต้นแบบเข้าที่ Port 1 ของเครื่อง Network Analyzer
4. ทำการวัด S11 โดยเลือก Format และกดเลือก Log mag
5. ทำการเลือก Marker 1 ที่ความถี่ 2.45 GHz
6. จดค่าที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับสายอากาศที่อ้างอิง
7. ต่อสายอากาศอ้างอิงเข้าที่ Port 1 ของเครื่อง Network Analyzer
8. ทำการวัด S11 โดยเลือก Format และกดเลือก Log mag
9. ทำการเลือก Marker 1 ที่ความถี่ 2.45 GHz
10. จดค่าที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับสายอากาศที่อ้างอิง

2.6 สรุป

ในบทที่ 2 นี้ได้กล่าวถึงความรู้ทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดและการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับสายอากาศไมโครสตริปในการควบคุมทิศทางการแผ่กระจายคลื่นและหลักการทำงานของสายอากาศ ข้อควรระวังในการวัดภาคสนาม ขั้นตอนการวัดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศตัวต้นแบบ รูปแบบการวัดว่าปฏิบัติอย่างไรซึ่งจะทำให้เข้าใจวิธีการทดสอบอย่างพอเข้าใจ

บทที่ 3

การสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศเพียงคันเดียว

ในบทที่ 3 นี้เป็นการพัฒนาสายอากาศตัวคันแบบโดยใช้โปรแกรม แบบจำลองผล จากที่ความถี่ 1.95 จิกะเฮิรซ์ ไปเป็นความถี่ 2.45 จิกะเฮิรซ์ จากนั้นก็ทำการเพิ่มช่องว่างในสายอากาศ เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย ของสายอากาศแต่ละแบบ

3.1 การออกแบบสายอากาศ

ในการพัฒนาสายอากาศเราทำการออกแบบสายอากาศตั้งแต่สายอากาศตัวคันแบบจนกระทั่งได้สายอากาศตามที่ต้องการ โดยชิ้นงานจริงจะใช้แผ่นวงจรพิมพ์ทองแดง 2 หน้าชนิด อีพอกซี (epoxy) ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 4.5 โดยมีความหนาของชั้นไดอิเล็กตริกเท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร ความหนาของชั้นตัวนำเท่ากับ 0.018 มิลลิเมตร

ในการออกแบบสายอากาศสมการที่ใช้ในการคำนวณขนาดของสายอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

โดยที่

f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิรซ์ (Hz)

c คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที (m/s)

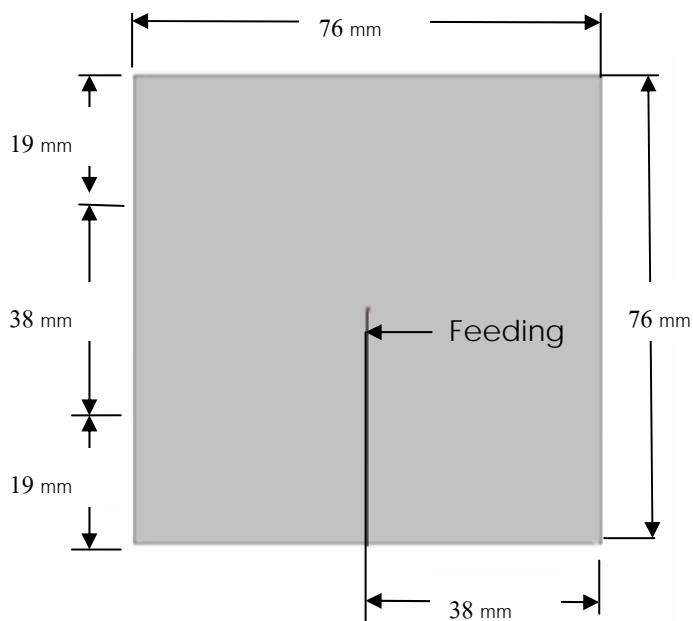
λ คือ ความยาวมีหน่วยเป็นเมตร (m)

โดยปกติแล้วขนาดของสายอากาศจะมีขนาดความกว้างเท่ากับ $\lambda/2$ และความยาวเท่ากับ $\lambda/2$ ซึ่งค่า λ ที่ในที่นี้คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ 3.1 ในการป้อนสัญญาณกำหนดให้จุดที่ทำการป้อนสัญญาณ (feeding point) อยู่ตรงกลางของสายอากาศเพื่อให้สัญญาณที่ได้มีการกระจายสัญญาณออกรอบทิศทางอย่างสม่ำเสมอ โดยโหมดที่ใช้คือ โหมด TM_{200} และ TM_{020} ดังรายละเอียดในบทที่ 2

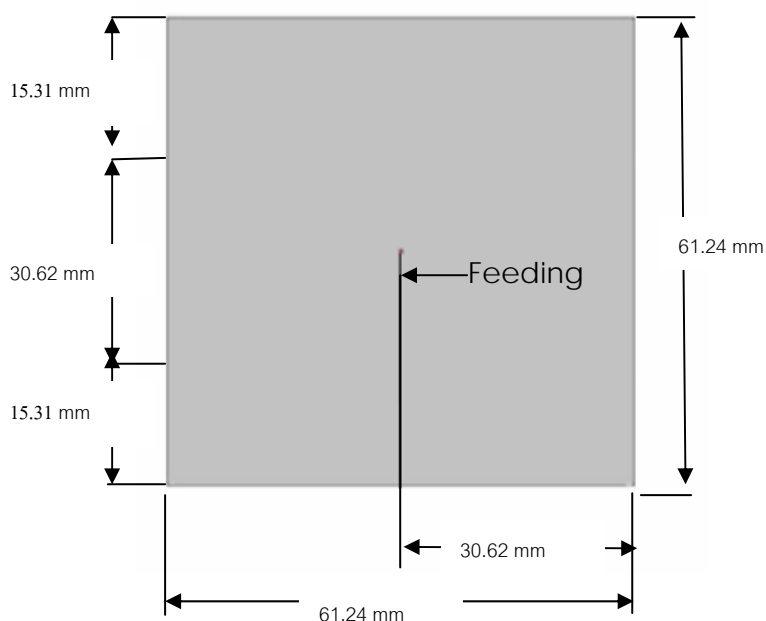
ในการออกแบบนี้เราได้ทำการจำลองสายอากาศอยู่ 3 แบบโดยเราได้อ้างอิงมาจากวิทยานิพนธ์ ของ นายไพศาล งามจรรยาภรณ์ ในบทที่ 2

สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ที่ความถี่ 1.95 จิกะเฮิรซ์

สายอากาศแบบแรกนี้เราจำลองที่ ความถี่ 1.95 จิกะเฮิรซ์ โดยเลียนแบบมาจากนายไพศาล งามจรรยาภรณ์ ซึ่งไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก โดยเราทำการเปลี่ยนแปลงเพียงค่า ϵ_r ที่มีค่าเท่ากับ 4.5 ซึ่งจากเดิมมีค่าเท่ากับ 4.3 และชนิดของวงจรพิมพ์จากเดิมเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ทองแดง 2 หน้าชนิด เอฟอาร์พี (FR-4) แต่เราเปลี่ยนมาเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ทองแดง 2 หน้าชนิด อีพอกซี่ เนื่องจากแผ่นเอฟอาร์พีหาได้ยากต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศอีกทั้งยังมีราคาแพง ขนาดของสายอากาศที่ได้มีขนาดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ที่ความถี่ 1.95 จิกะเฮิรซ์



รูปที่ 3.2 ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ที่ความถี่ 2.45 จิกะเฮิรซ์

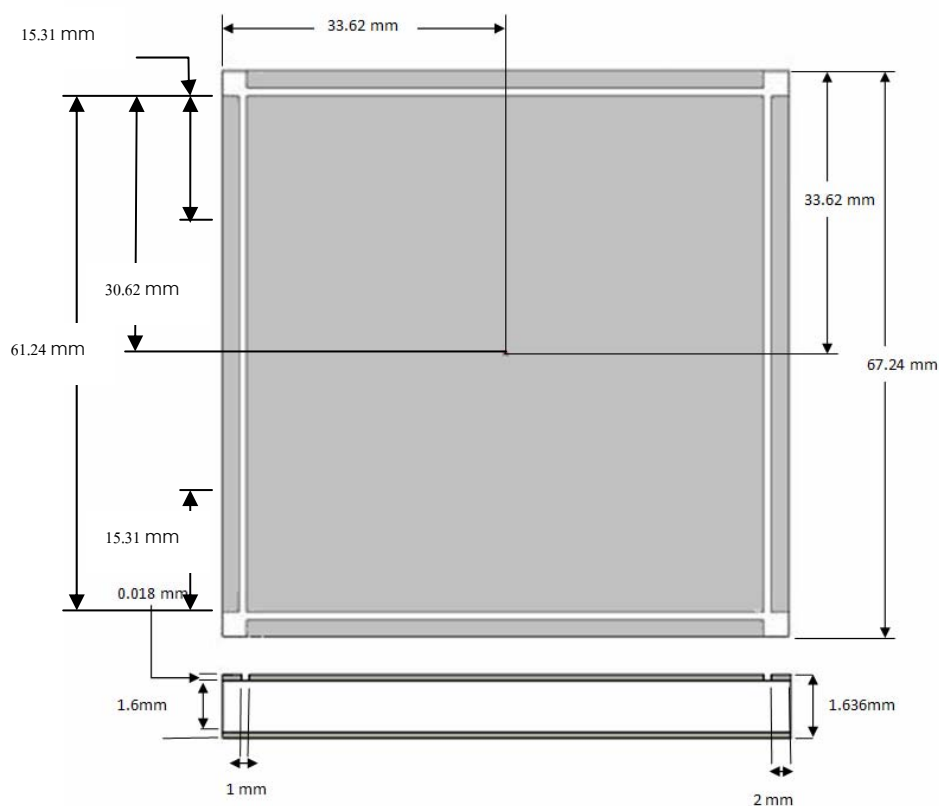
สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ที่ความถี่ 2.45 จิกะเฮิรตซ์

เราได้จำลองการสร้างสายอากาศโดยใช้วิธีเดียวกับสายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 แต่เปลี่ยนความถี่เป็น 2.45 จิกะเฮิรตซ์ ขนาดของสายอากาศที่ได้มีขนาดดังรูปที่ 3.2

สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 ที่ความถี่ 2.45 จิกะเฮิรตซ์ โดยเพิ่มช่องว่างในสายอากาศ

เป็นการปรับปรุงสายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 โดยสายอากาศที่เราจำลองมานี้มีขนาดเหมือนกับแบบที่ 2 เพียงแค่เราเพิ่มช่องว่าง (gap) ออกมาข้างนอกอีกทั้งสี่ด้าน

เหตุที่เราทำการเพิ่มช่องว่าง เนื่องจาก เมื่อเราทำการต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และทำการปิดวงจรในแต่ละด้านจะช่วยลดการช้อตกันตรงๆ หรือชนกันจิงๆของกระแสทำให้กระแสที่วิ่งเข้าไปภายในสายอากาศ เกิดการรบกวนกันน้อยลงซึ่งน่าจะมีผลดีมากกว่าสายอากาศที่ไม่มีช่องว่าง โดยจะมีลักษณะและขนาดของสายอากาศดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 ที่ความถี่ 2.45 จิกะเฮิรตซ์
มีการเพิ่มช่องว่างในสายอากาศ

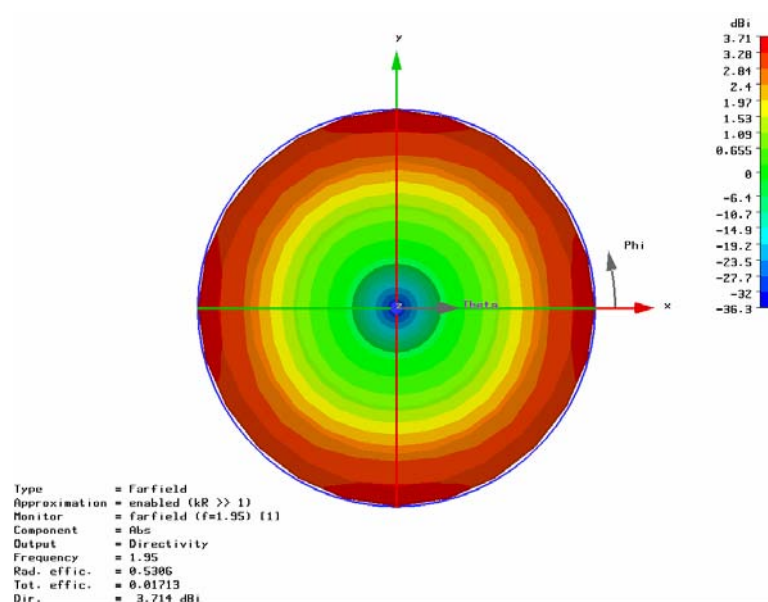
3.2 ผลจากการจำลองแบบจากโปรแกรม

จากผลการจำลองของโปรแกรมเราได้จำลองเมื่อมองทางด้านบน(Top view) โดยการสวิตช์ค่าคลื่น
ตัวขงจรอิเล็กทรอนิกส์มี ทั้งหมด 7 รูปแบบซึ่งแต่ละรูปแบบจะให้ผลการจำลองดังต่อไปนี้

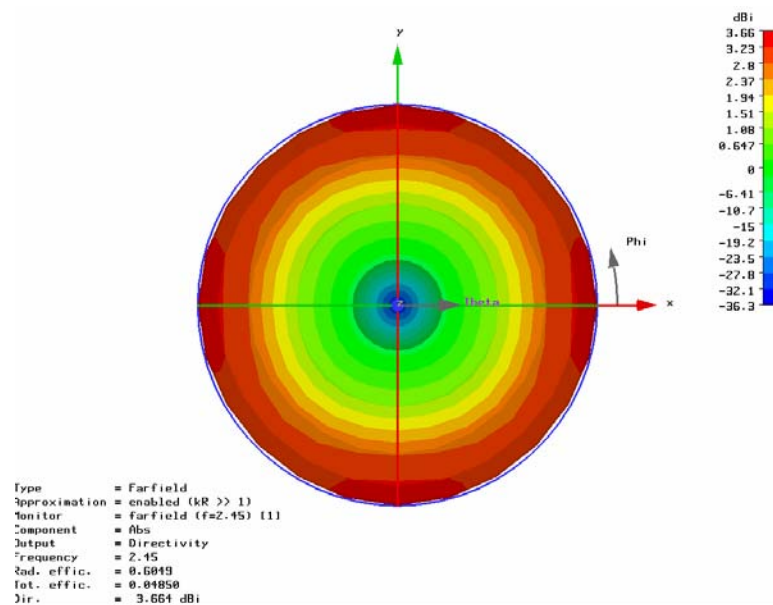
3.2.1 ไม่มีการต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังรูป



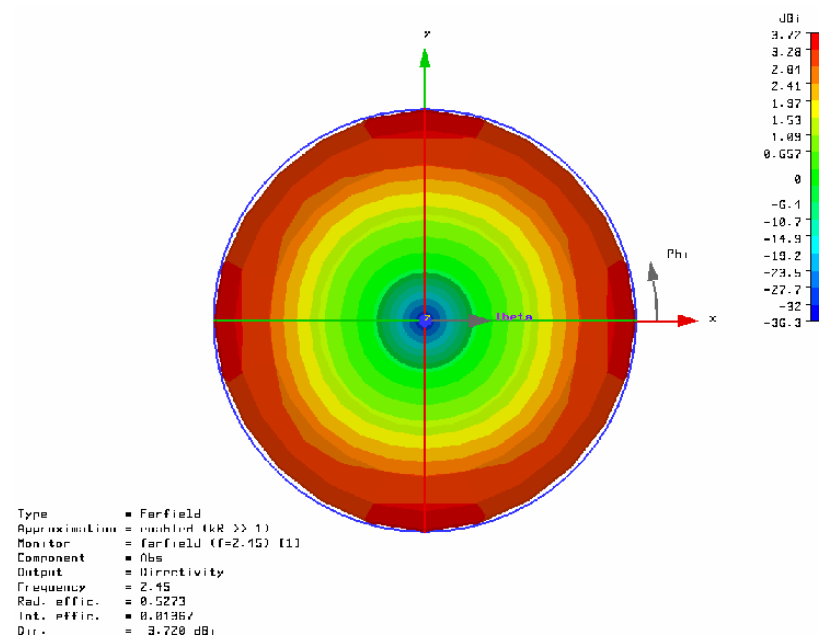
รูปที่ 3.4 ไม่มีการต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.5 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ไม่มีการต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



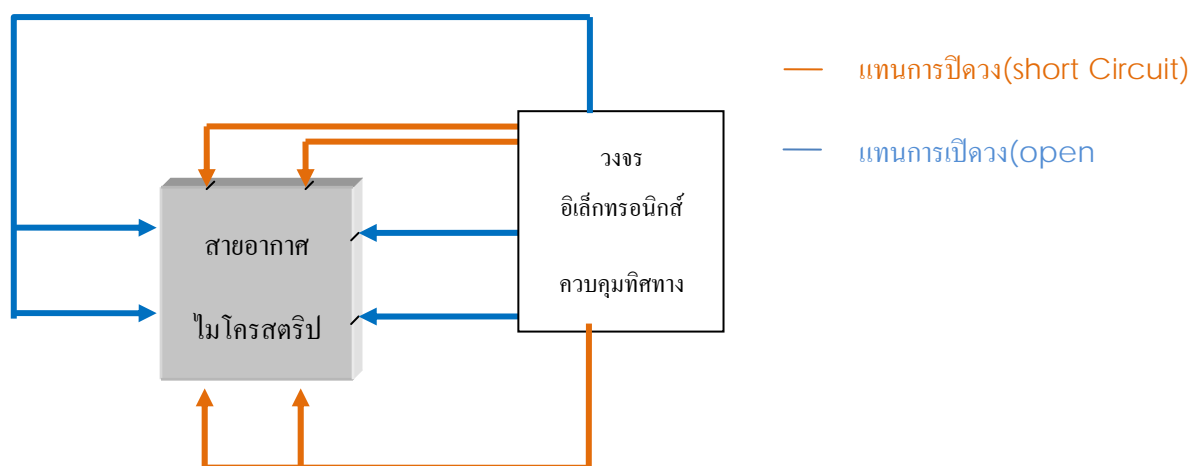
รูปที่ 3.6 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ไม่มีการต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



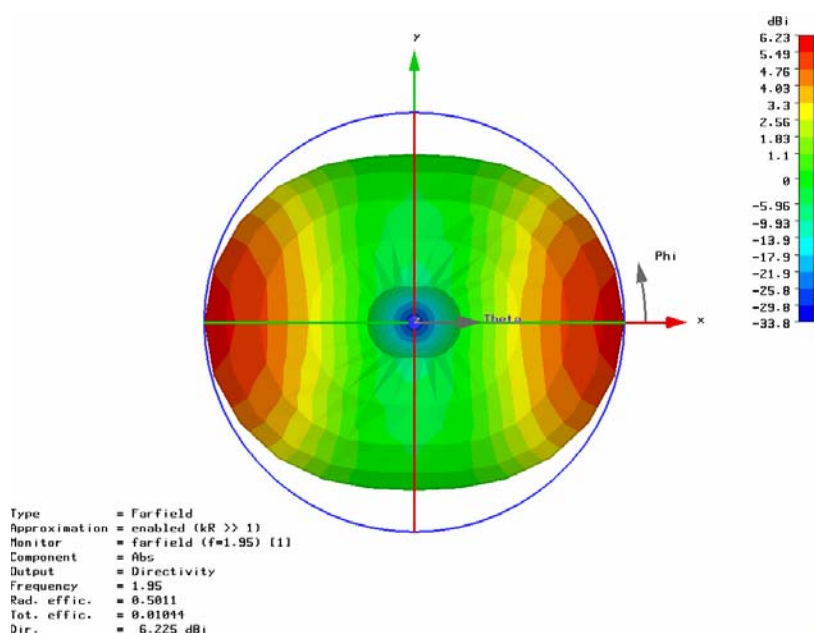
รูปที่ 3.7 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 เปิดวงจรทั้ง 4 ด้าน

กรณีที่ 1 ไม่มีการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ผลที่ได้ของลักษณะรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นได้ทิศทางการแผ่พลังงานรอบตัวเอง ซึ่งมีลักษณะเดียวกันทั้ง 3 รูปแบบ ดังรูป

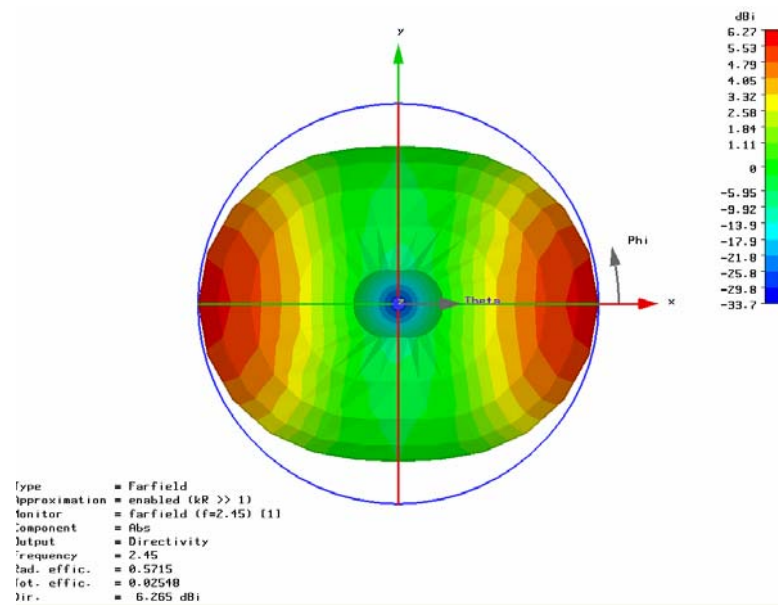
3.2.2 ปิดวงจรด้านบนกับด้านล่าง ดังรูป



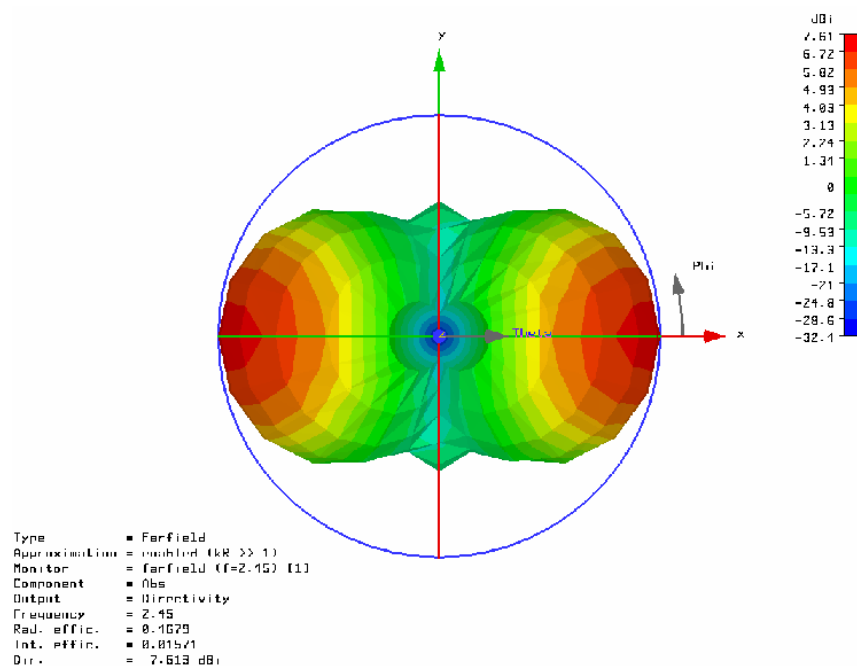
รูปที่ 3.8 รูปแบบการปิดวงจรด้านบนกับด้านล่าง



รูปที่ 3.9 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ปิดวงจรด้านบนกับด้านล่าง



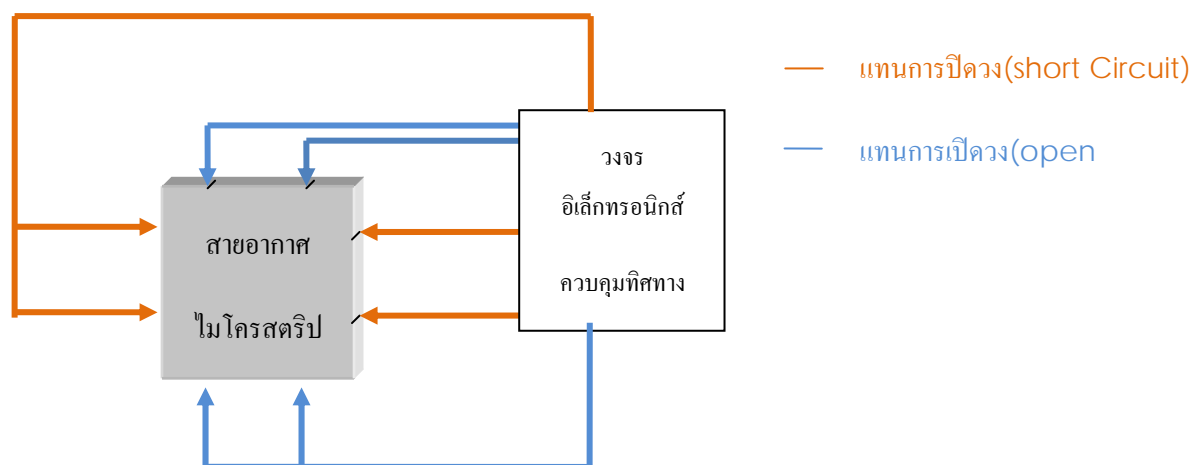
รูปที่ 3.10 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ปิดวงจรด้านบนกับด้านล่าง



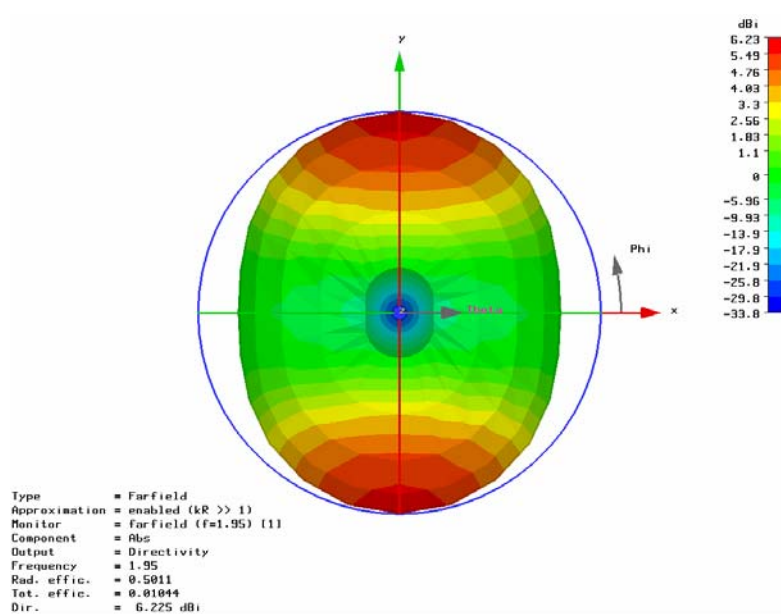
รูปที่ 3.11 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 ปิดวงจรด้านบนกับด้านล่าง

กรณีที่ 2 ทำการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งปิดวงจรด้านบนกับด้านล่างและเปิดวงจรด้านที่เหลือผลที่ได้ทั้ง 3 รูปแบบจะมีลักษณะการแผ่กระจายพลังงานไปในทิศทางเดียวกันคือด้านซ้ายกับด้านขวา ดังรูป แต่รูปแบบที่ 3 จะมีลักษณะผลที่ได้จะมีลักษณะลำคลื่นแคบลงไปในทิศทางที่ต้องการเนื่องจากการปิดวงจรด้านบนกับด้านล่างและทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นดังรูป

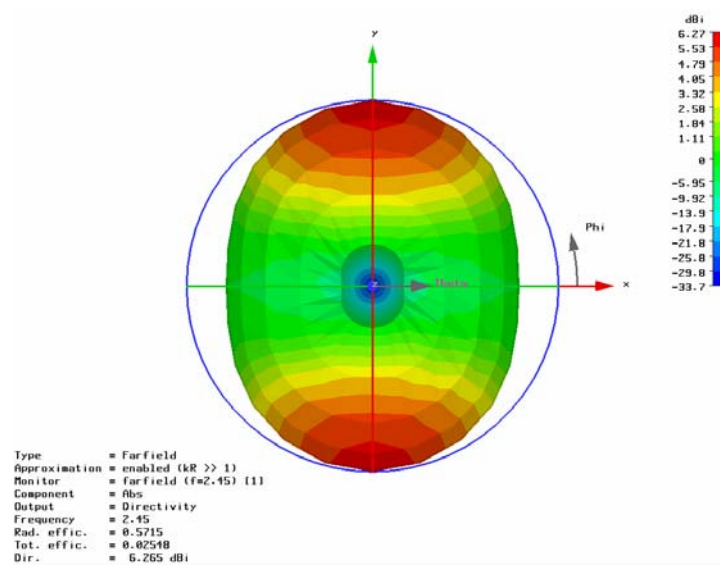
3.2.3 ปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านขวา ดังรูป



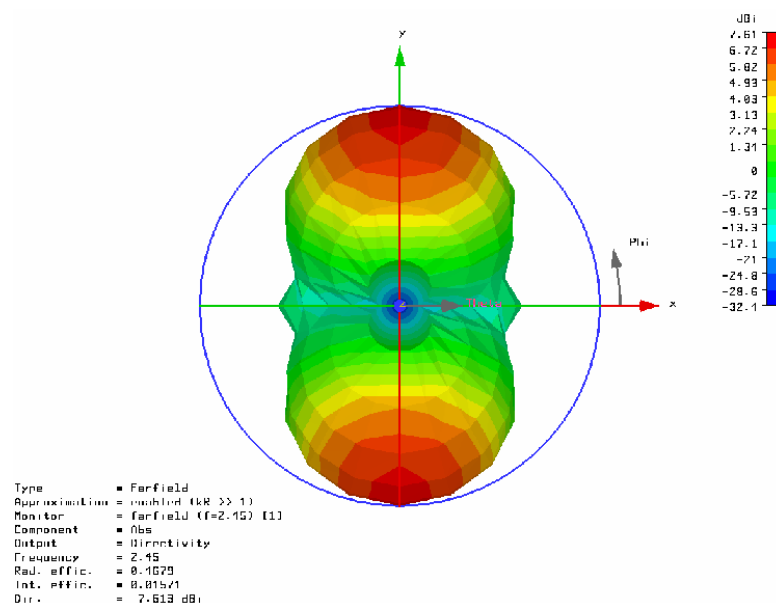
รูปที่ 3.12 รูปแบบการปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านขวา



รูปที่ 3.13 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านขวา



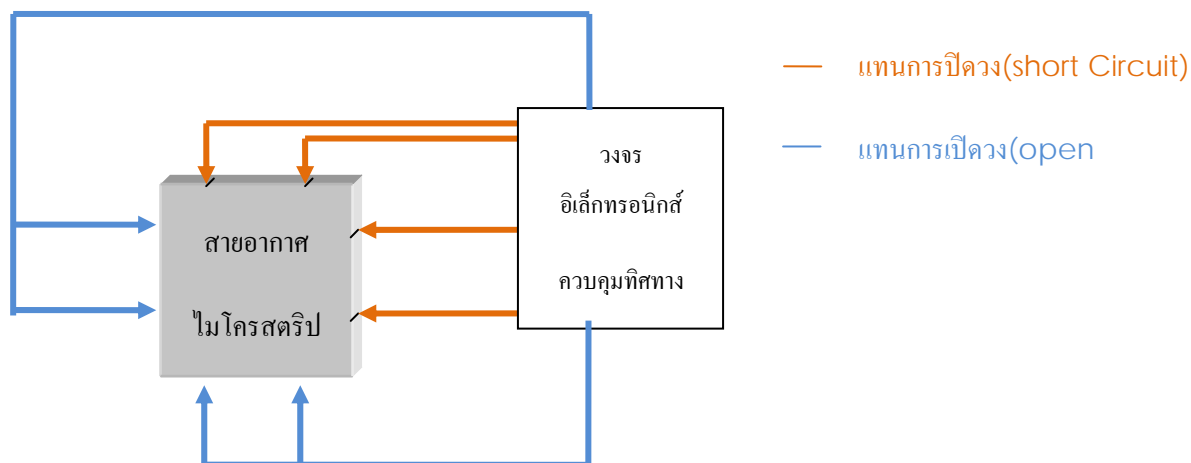
รูปที่ 3.14 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านขวา



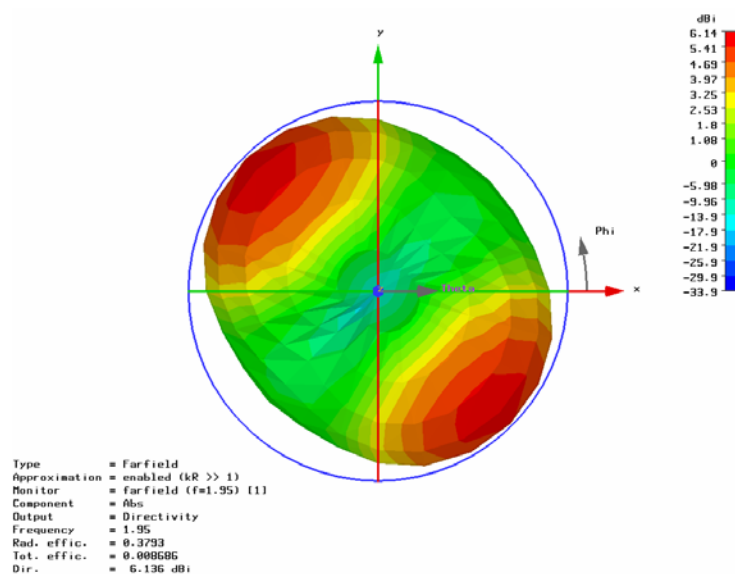
รูปที่ 3.15 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 ปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านขวา

กรณีที่ 3 ทำการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านขวาและเปิดวงจรด้านที่เหลือผลที่ได้ทั้ง 3 รูปแบบจะมีลักษณะการแผ่กระจายพลังงานไปในทิศทางเดียวกันคือด้านบนกับด้านล่างดังรูป แต่รูปแบบที่ 3 จะมีลักษณะผลที่ได้จะมีลักษณะลำคลื่นแคบลงไปในทิศทางที่ต้องการเนื่องจากการปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านขวาและทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นดังรูป

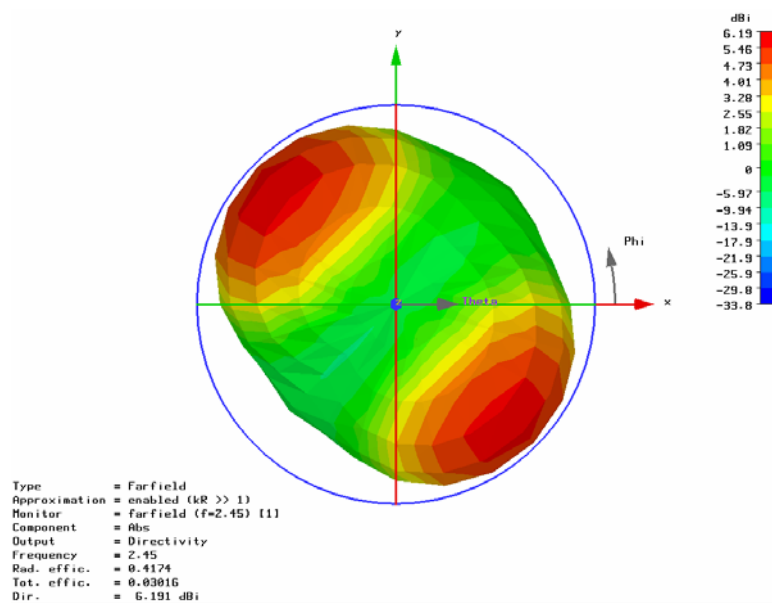
3.2.4 ปิดวงจรด้านบนกับด้านขวา ดังรูป



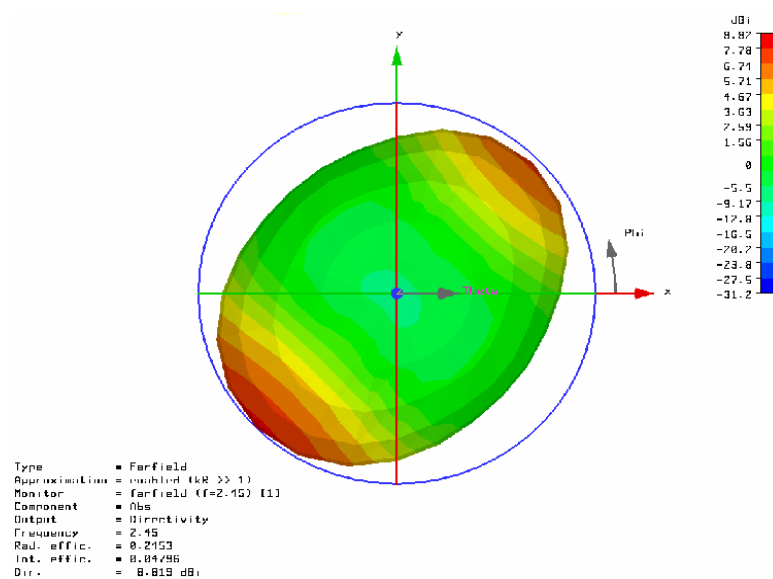
รูปที่ 3.16 รูปแบบการปิดวงจรด้านบนกับด้านขวา



รูปที่ 3.17 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ปิดวงจรด้านบนกับด้านขวา



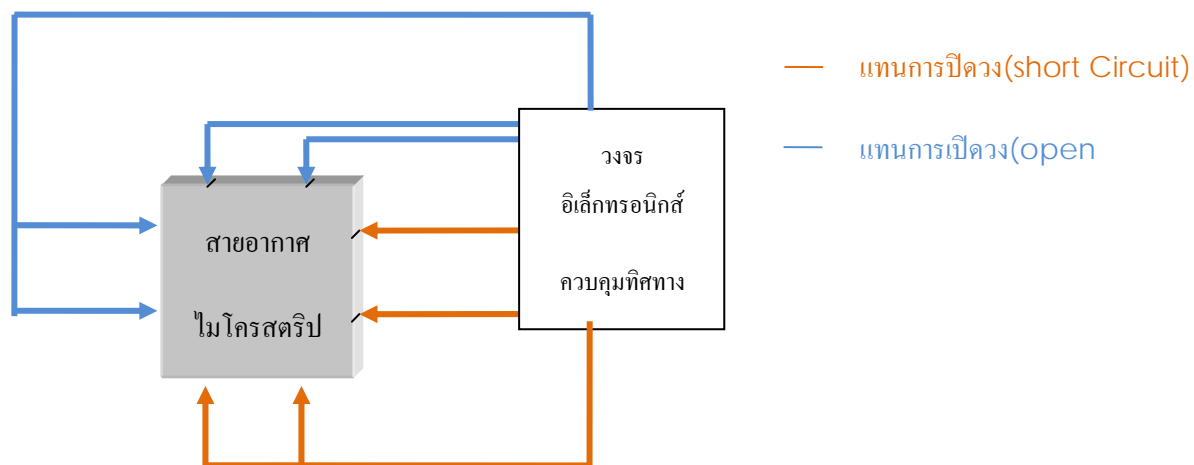
รูปที่ 3.18 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ปิดวงจรด้านบนกับด้านขวา



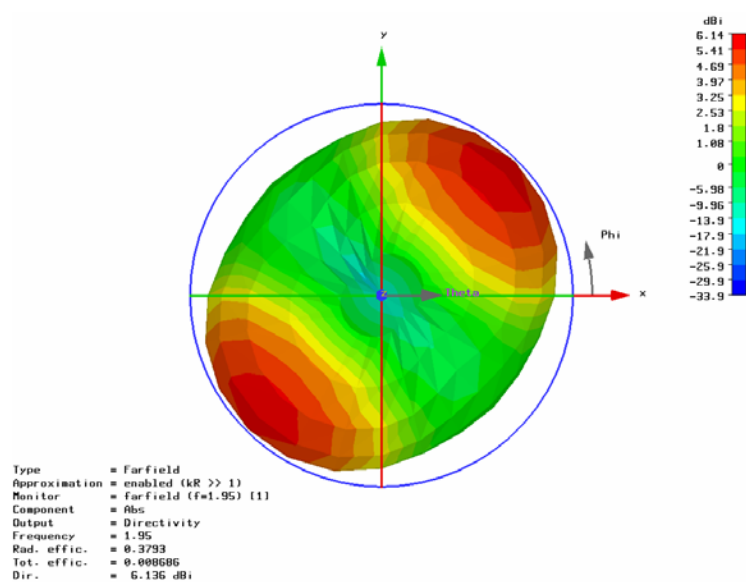
รูปที่ 3.19 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 ปิดวงจรด้านบนกับด้านขวา

กรณีที่ 4 ทำการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งปิดวงจรด้านบนกับด้านขวาและเปิดวงจรด้านที่เหลือ ผลที่ได้รูปแบบที่ 1 และ 2 จะไม่สามารถคาดเดาทิศทางการแผ่กระจายพลังงานได้ดังรูป แต่รูปแบบที่ 3สามารถบ่งชี้ทิศทางลักษณะการแผ่กระจายพลังงานได้ตามที่ต้องการและจะมีลักษณะลำคลื่นแคบลงไปในทิศทางที่ต้องการเนื่องจากการปิดวงจรด้านบนกับด้านขวาและทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นดังรูป ทั้งนี้ผลที่ได้เนื่องมาจากการเพิ่มช่องว่างในสายอากาศตัวต้นแบบ

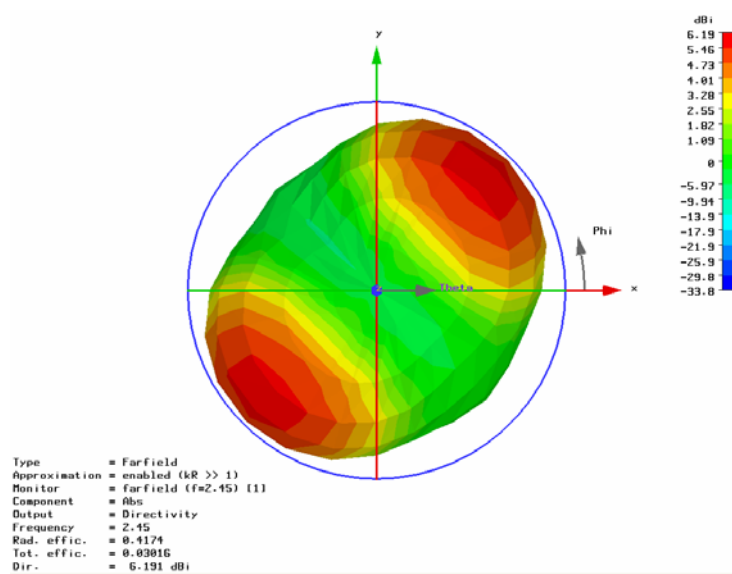
3.2.5 ปิดวงจรด้านขวาด้วยด้านล่าง ดังรูป



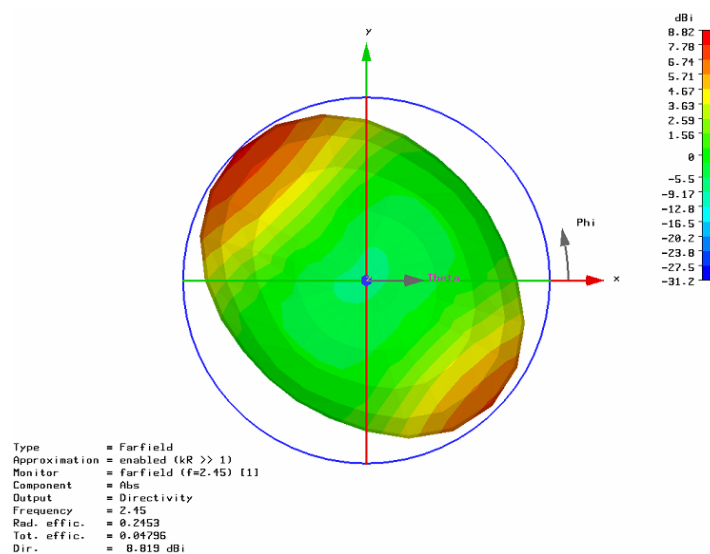
รูปที่ 3.20 รูปแบบการปิดวงจรด้านขวาด้วยด้านล่าง



รูปที่ 3.21 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ปิดวงจรด้านขวาด้วยด้านล่าง



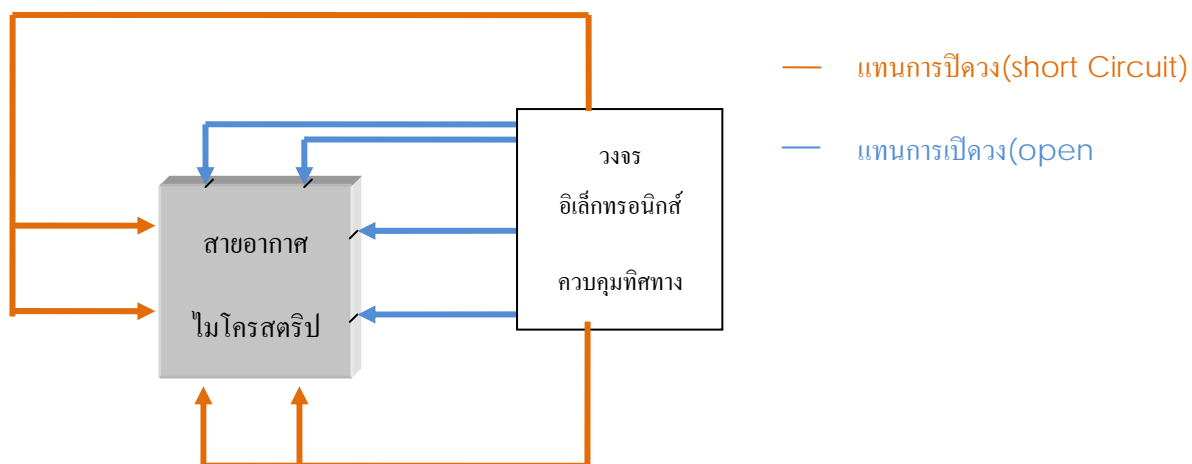
รูปที่ 3.22 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ปิดวงจรด้านขวากับด้านล่าง



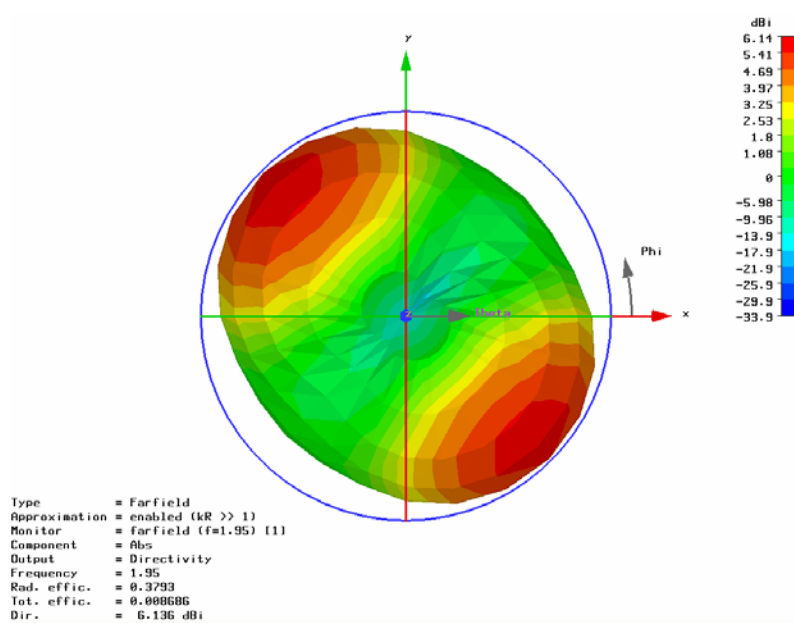
รูปที่ 3.23 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 ปิดวงจรด้านขวากับด้านล่าง

กรณีที่ 5 ทำการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งปิดวงจรด้านล่างกับด้านขวาและเปิดวงจรด้านที่เหลือ ผลที่ได้รูปแบบที่ 1 และ 2 จะไม่สามารถคาดเดาทิศทางการแผ่กระจายพลังงานได้ดังรูป แต่รูปแบบที่ 3 สามารถบ่งชี้ทิศทางลักษณะการแผ่กระจายพลังงานได้ตามที่ต้องการและจะมีลักษณะลำคลื่นแคบลงไปในทิศทางที่ต้องการเนื่องจากการปิดวงจรด้านล่างกับด้านขวาและทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นดังรูป ทั้งนี้ผลที่ได้เนื่องมาจากการเพิ่มช่องว่างในสายอากาศตัวต้นแบบ

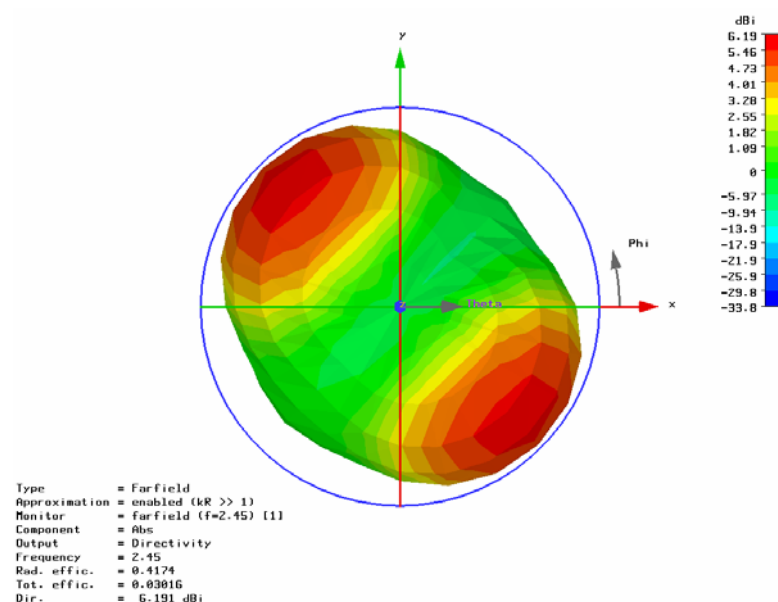
3.2.6 ปิดวงจรด้านล่างกับด้านซ้าย ดังรูป



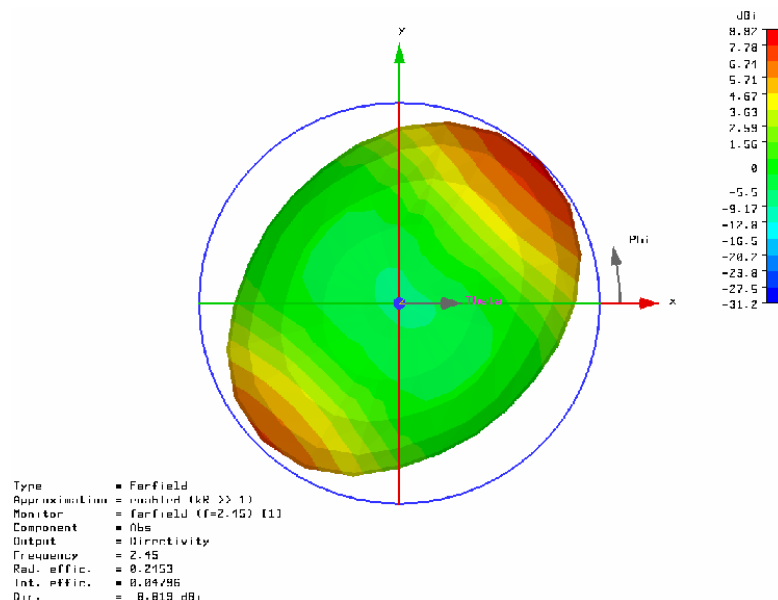
รูปที่ 3.24 รูปแบบการปิดวงจรด้านล่างกับด้านซ้าย



รูปที่ 3.25 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ปิดวงจรด้านล่างกับด้านซ้าย



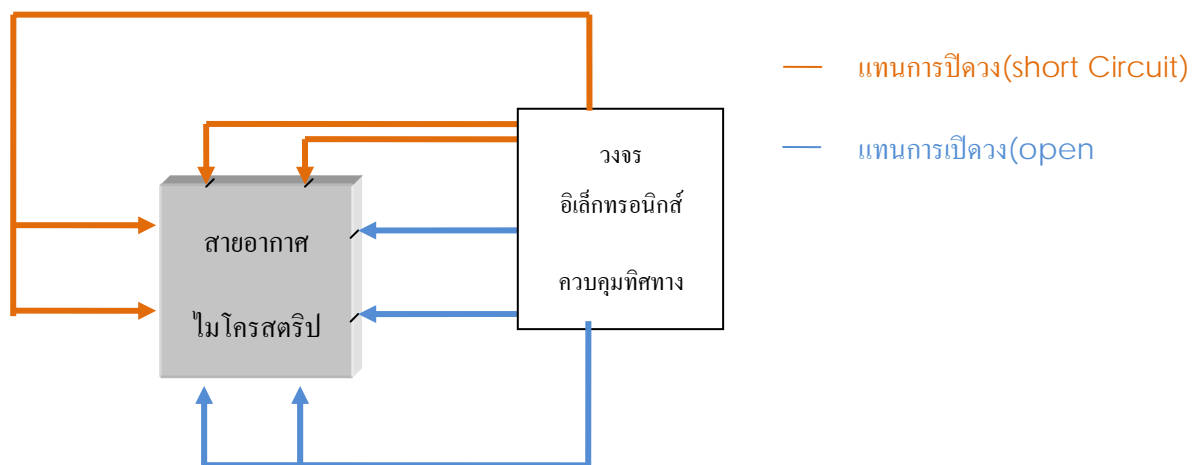
รูปที่ 3.26 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ปิดวงจรด้านล่างกับด้านซ้าย



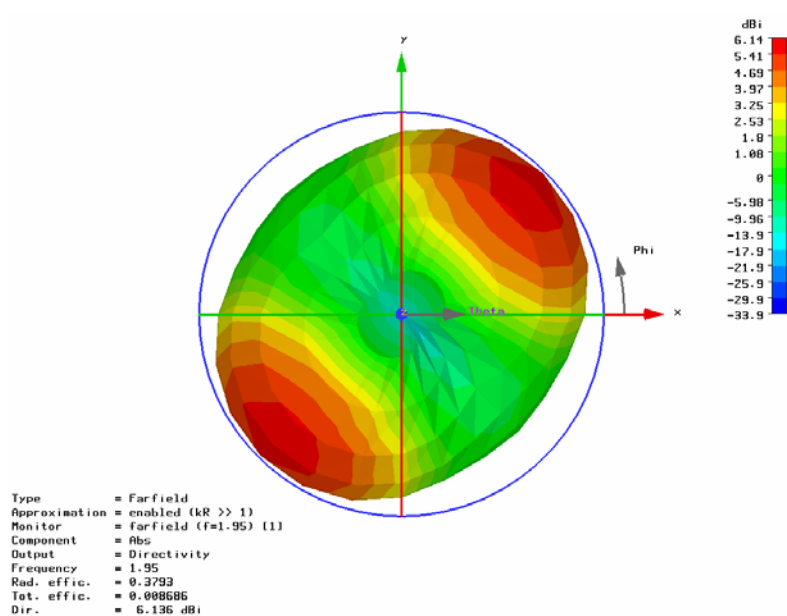
รูปที่ 3.27 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 ปิดวงจรด้านล่างกับด้านซ้าย

กรณีที่ 6 ทำการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งปิดวงจรด้านล่างกับด้านซ้ายและเปิดวงจรด้านที่เหลือ ผลที่ได้รูปแบบที่ 1 และ 2 จะไม่สามารถคาดเดาทิศทางการแผ่กระจายพลังงานได้ดังรูป แต่รูปแบบที่ 3 สามารถบ่งชี้ทิศทางลักษณะการแผ่กระจายพลังงานได้ตามที่ต้องการและจะมีลักษณะลำคลื่นแคบลงไปในทิศทางที่ต้องการเนื่องจากการปิดวงจรด้านล่างกับด้านซ้ายและทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นดังรูป ทั้งนี้ผลที่ได้เนื่องมาจากการเพิ่มช่องว่างในสายอากาศตัวต้นแบบ

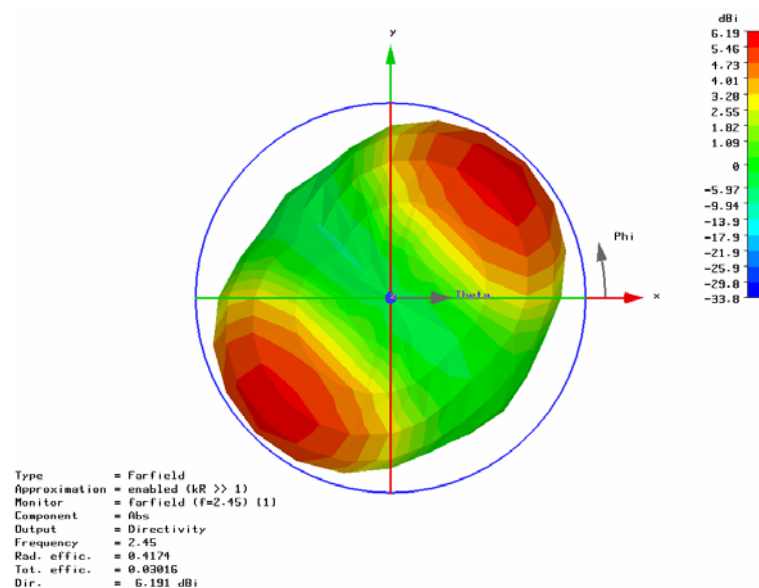
3.2.7 ปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านบน ดังรูป



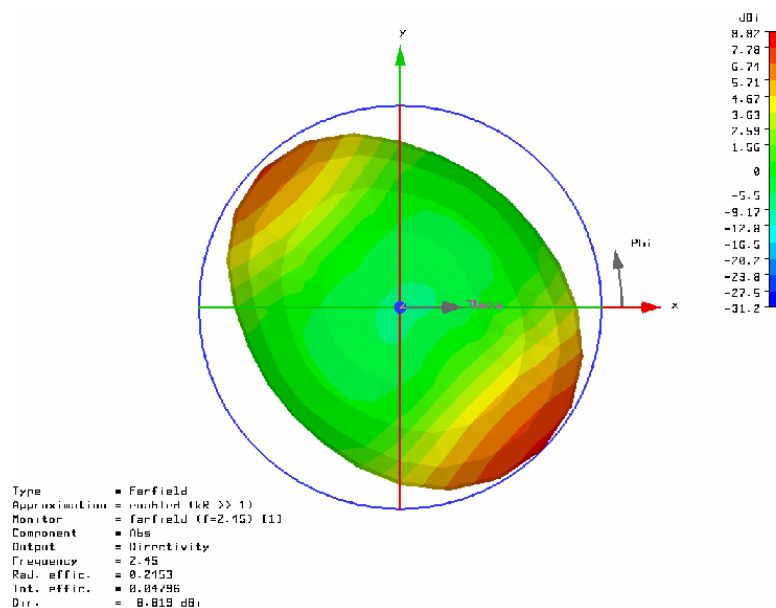
รูปที่ 3.8 รูปแบบการปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านบน



รูปที่ 3.28 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 1 ปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านบน




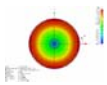
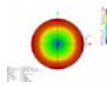
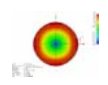
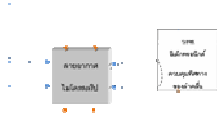
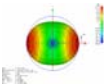
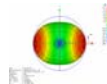
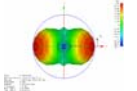
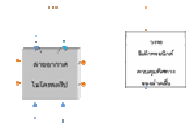
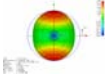
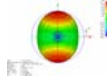
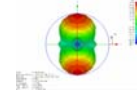
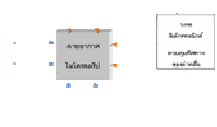
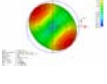
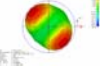
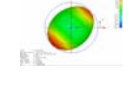
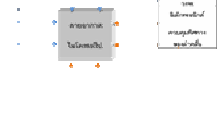
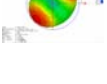
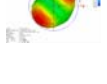
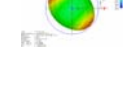


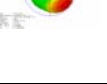





รูปที่ 3.29 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 2 ปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านบน



รูปที่ 3.30 สายอากาศไมโครสตริปแบบที่ 3 ปิดวงจรด้านซ้ายกับด้านบน

กรณีที่ 7 ทำการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งปิดวงจรด้านบนกับด้านซ้ายและเปิดวงจรด้านที่เหลือ ผลที่ได้รูปแบบที่ 1 และ 2 จะไม่สามารถคาดเดาทิศทางการแผ่กระจายพลังงานได้ดังรูป แต่รูปแบบที่ 3 สามารถบ่งชี้ทิศทางลักษณะการแผ่กระจายพลังงานได้ตามที่ต้องการและจะมีลักษณะลำคลื่นแคบลงไปในทิศทางที่ต้องการเนื่องจากการปิดวงจรด้านบนกับด้านซ้ายและทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นดังรูป ทั้งนี้ผลที่ได้เนื่องมาจากการเพิ่มช่องว่างในสายอากาศตัวต้นแบบ

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบผลการจำลอง

ทิศทางที่ทำการปิดวงจร	ทิศทางที่ทำการเปิดวงจร	ผลที่คาดว่าจะได้	ผลที่ได้ตามแบบจำลองผลที่ได้ตามแบบจำลอง		
			1.95 GHz	2.45 GHz	2.45 GHz มีช่องว่าง
ไม่มีการต่อวงจร	ไม่มีการต่อวงจร				
บน-ล่าง	ซ้าย-ขวา				
ซ้าย-ขวา	บน-ล่าง				
บน-ขวา	ล่าง-ซ้าย				
ขวา-ล่าง	ซ้าย-บน				
ล่าง-ซ้าย	บน-ขวา				
ซ้าย-บน	ขวา-ล่าง				

3.3 สรุปผล

ในการจำลองสายอากาศไมโครสตริปทั้ง 3 แบบ สายอากาศแบบที่ 1 และสายอากาศสายอากาศแบบที่ 2 จะเห็นได้ว่า มีลักษณะการควบคุมทิศทางการสวิตช์ของลำคลื่นได้ไม่ดีดังผลจำลอง เช่น ถ้าเราทำการปัดวงจรด้านซ้าย-ขวาแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะมีทิศทางไปในด้านบน-ล่างในทางกลับกัน ถ้าเราทำการปัดวงจรด้านบน-ล่างแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะมีทิศทางไปในด้านซ้าย-ขวา แต่เมื่อเราทำการปัดวงจรด้านบน-ขวา, ขวา-ล่าง, ล่าง-ซ้าย, ซ้าย-บน แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะไม่สามารถควบคุมทิศทางไปในด้านที่ต้องการได้แต่จะมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นไม่สามารถระบุทิศทางได้ดังตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าสายอากาศรูปแบบที่ 3 ซึ่งเป็นสายอากาศตัวต้นแบบจะสามารถควบคุมทิศทางการสวิตช์ของลำคลื่นได้อย่างชัดเจนเป็นไปตามทิศทางที่ต้องการสามารถคาดเดาทิศทางตามที่ต้องการได้ซึ่งมาจากการเพิ่มช่องว่างในสายอากาศ ดังตารางที่ 3.1

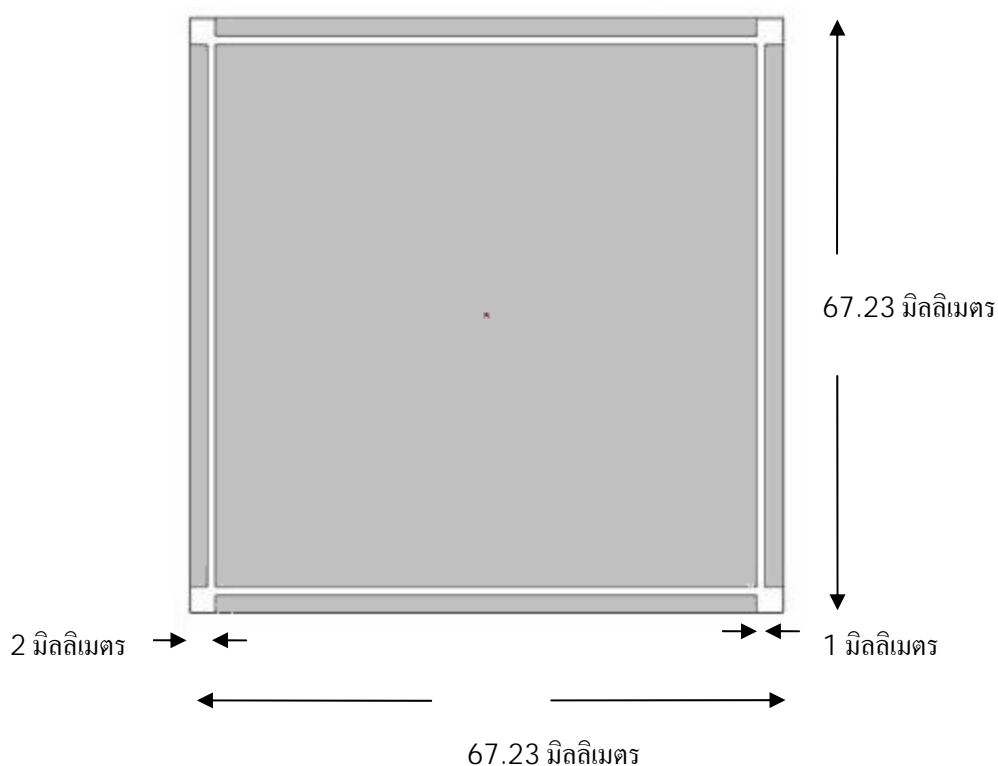
บทที่ 4

การสร้างตัวต้นแบบสวิตช์ลากลื่นโดยใช้สายอากาศต้นเดียวและผลการวัดจริง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศตัวต้นแบบและผลที่ได้จากการวัดผลจริงของทุกกรณีซึ่งทำให้เห็นความแตกต่างในแต่ละระนาบ xy, yz และ xz ซึ่งเป็นระนาบที่จำเป็นในการแสดงผลการวัด การเพิ่มช่องว่างในสายอากาศมีผลต่อทิศทางของสายอากาศอย่างไร

4.1 ขั้นตอนการสร้างสายอากาศไมโครสตริปตัวต้นแบบ

1. เตรียมแผ่น Epoxy และออกแบบลายพิมพ์แล้วนำลายพิมพ์ไปพิมพ์ลงในแผ่นใส



รูปที่ 4.1 แบบลายพิมพ์ของสายอากาศที่ทำการออกแบบ

2. ตัดแผ่น Epoxy ที่เตรียมไว้โดยให้มีขนาด เท่ากับ 67.23 x 67.23 มิลลิเมตร เมื่อทำการตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากรูป 4.1 จะเห็นว่า ขอบของแผ่น Epoxy ไม่เรียบ ดังนั้นจึงใช้กระดาษทรายขัดเพื่อให้ขอบของ Epoxy เรียบ



รูปที่ 4.2 หัว connector female



รูปที่ 4.3 แผ่น Epoxy ที่ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3. ใช้เตารีดรีดลายพิมพ์ที่ทำการออกแบบไว้จากข้อที่ 1 ติดกับแผ่น Epoxy โดยให้ขอบของแต่ละด้านของทั้งสองอันเมื่อรีดได้ประมาณ 10 นาทีก็ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้มันหลังจากนั้นก็ลอกออก

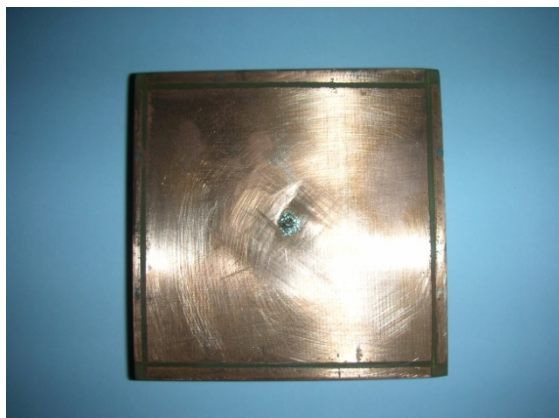
หมายเหตุ ขณะรีดต้องใช้กระดาษรองประมาณ 2 แผ่นเพื่อไม่ให้แผ่นใส่ติดกับเตารีด

4. กัดลายพิมพ์ที่ได้จากข้อ 3 โดยใช้กรดน้ำยาคัดแผ่นวงจรพิมพ์โดยนำไปแช่ลงในนั้นแช่ประมาณ 8-9 นาที ทองแดงที่ติดอยู่ก็จะออกมาตามลายพิมพ์นั้นเมื่อทองแดงหลุดออกตามที่ต้องการแล้ว จึงนำออกไปล้างด้วยน้ำ ทิ้งไว้ให้แห้ง นำมาทำความสะอาดด้วยน้ำมันสน

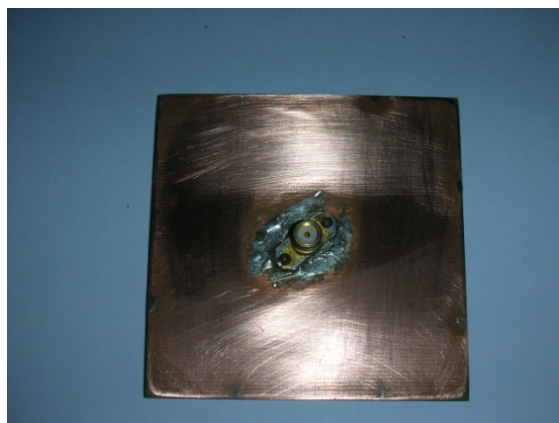
5. เจาะรูตรงกึ่งกลางของแผ่น Epoxy ที่ได้จากข้อ 4

6. นำหัว connector (SMA) มาเชื่อมต่อกับแผ่น Epoxy ที่ได้จากข้อ 5

7. จากข้อ 6 ก็จะได้อากาศไมโครสตริป จากนั้นก็นำไปต่อกับวงจรในหัวข้อต่อไป



รูป ก ภาพด้านทองแดง



รูป ข ภาพด้านกราวด์

รูปที่ 4.4 สายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้น

การเพิ่มช่องว่างในสายอากาศ

ในการออกแบบนี้จะทำการเพิ่มช่องว่าง (gap) ให้กับสายอากาศ เหตุที่เราทำการเพิ่มช่องว่างนี้เนื่องจากเมื่อเราทำการต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และทำการปิดวงจรในแต่ละด้าน ซึ่งจะช่วยลดการช้อตกันจริงๆ ตรงๆ หรือชนกันจริงๆ ของกระแส ทำให้กระแสที่ไหลเข้ามาภายในสายอากาศ เกิดการรบกวนกันน้อยลง ส่งผลให้ด้านแต่ละด้านมีอิสระต่อกันและไม่มีผลเนื่องจากชนกันจริงๆ ของสัญญาณ ซึ่งน่าจะมีผลดีกว่าสายอากาศที่ไม่มีช่องว่าง และส่งผลการควบคุมทิศทางของลำคลื่นดียิ่งขึ้น

4.2 ขั้นตอนการสร้างการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

● รายละเอียดอุปกรณ์วงจรทรานซิสเตอร์แบบ Fix bias

1. ทรานซิสเตอร์ เบอร์ C458	1	ตัว
2. ตัวต้านทานขนาด 1 กิโลโอห์ม ขนาด 0.5 วัตต์	2	ตัว

● รายละเอียดอุปกรณ์วงจรควบคุมสวิทช์

1. คีบสวิทช์ ขนาด 4 ช่องอินพุตและเอาต์พุต	1	ตัว
2. LED สีแดงขนาดเล็ก 0.3 โวลต์	4	หลอด
3. ถ่านขนาด 1.5 โวลต์	4	ก้อน
4. แผงใส่ถ่านขนาด 1.5 โวลต์	1	แผง

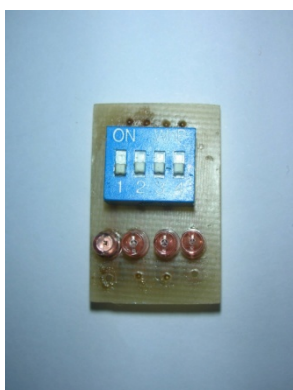
- ขั้นตอนการสร้างวงจรทรานซิสเตอร์แบบ Fix bias

1. ออกแบบวงจรและวิเคราะห์กระแสที่ไหลในวงจร
2. นำแผ่นวงจรพิมพ์วงจรมาตัดแผ่นวงจรพิมพ์ให้ได้ตามที่ออกแบบ
3. นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาบัดกรีตามวงจรที่ออกแบบ
4. ทำการตรวจสอบวงจรว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่

- ขั้นตอนการสร้างวงจรควบคุมสวิตช์

1. ออกแบบการใช้งานสวิตช์ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น
2. นำแผ่นแผ่นวงจรพิมพ์วงจรมาตัดแผ่นวงจรพิมพ์ให้ได้ตามที่ออกแบบ
3. นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาบัดกรีตามวงจรที่ออกแบบ
4. ทำการตรวจสอบวงจรว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่

จะได้วงจรควบคุมสวิตช์และวงจรทรานซิสเตอร์แบบ Fix bias ดังรูป



รูป ก.

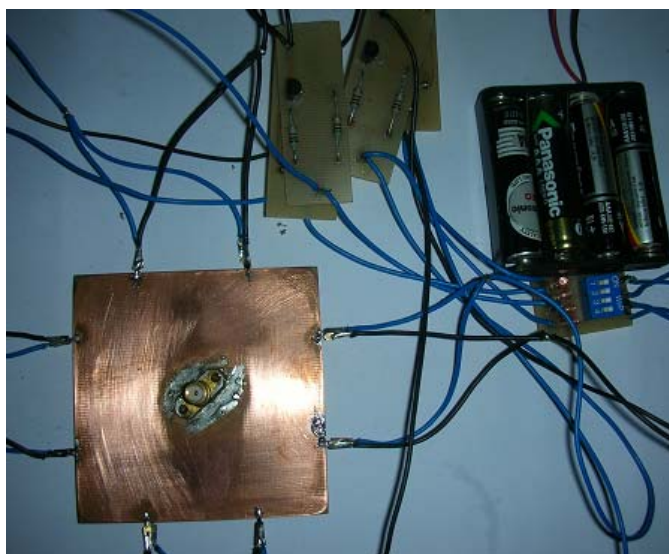


รูป ข.

รูปที่ 4.5 วงจรควบคุมสวิตช์และวงจรทรานซิสเตอร์แบบ Fix bias ตามลำดับ

นำวงจรทั้งสองที่ออกแบบไว้นำมาทำการต่อวงจรเป็นวงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์ ดังรูป

4.6



รูป 4.6 วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์

4.3 หลักการทำงานของวงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์

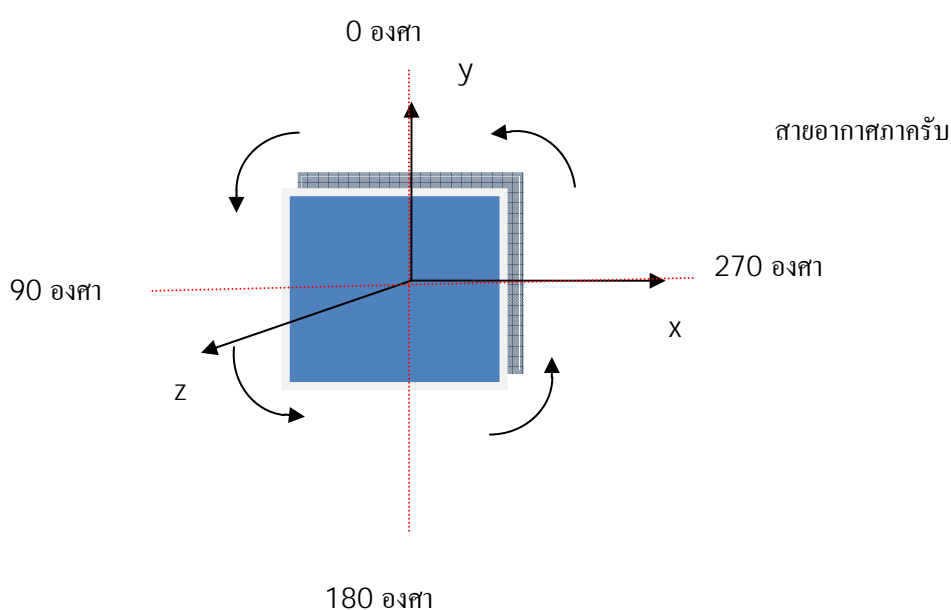
เมื่อเราทำการจ่ายไฟกระแสตรง 6 โวลต์ให้แก่วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์โดยกระแสจะผ่านจุดควบคุมสวิตช์ซึ่งทำหน้าที่เปิดและปิดกระแสจำนวน 4 ช่องกระแสไหลเข้าสู่ คิ๊บสวิตช์ทุกช่อง และเราสามารถควบคุมได้ทุกช่องถ้าสมมุติเราทำการเปิดสวิตช์ช่องที่ 1 กระแสจะไหลเฉพาะช่องที่ 1 และจะไม่มีกระแสไหลในช่องที่เหลือในที่นี้เรามีการตรวจสอบกระแสด้วยหลอดไฟ LED ถ้าไฟติดแสดงว่ากระแสไหลในช่องนั้นๆ และจากกระแสที่ไหลมาจะไหลเข้าสู่วงจรทรานซิสเตอร์วงจรนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อกระแสมีค่ากระแสมากพอที่วงจรทำงานได้ครบวงจร ถ้ากระแสน้อยกว่าที่วงจรจะทำงานได้กระแสก็จะไม่ไหลผ่านไปสู่สายอากาศ ไมโครสตริปซึ่งจะไม่มีผลทำให้บังคับทิศทางซึ่งก็คือ เปิดวงจร ในทางกลับกันถ้ากระแสไหลผ่านไปสู่สายอากาศไมโครสตริปซึ่งจะมีผลให้บังคับทิศทางได้ที่ตำแหน่งที่เราทำการ ชี้อวงจรถวาย ในที่นี้แต่ละช่องจะมีวงจรทรานซิสเตอร์ช่องละวงจรควบคุมอยู่

ในทางปฏิบัติกลุ่มผู้ทำโครงการได้นำสายอากาศที่สร้างขึ้นจริงและนำมาต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในการวัดเพื่อให้ได้ผลการวัดที่ตามแบบจำลองโดยแบบจำลองของสายอากาศผลที่ได้จากแบบจำลองเป็นรูป 3 มิติ ดังนั้น กลุ่มผู้ทำโครงการจึงทำการวัดเพื่อให้ได้ ทั้ง 3 มิติ เหมือนกันซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

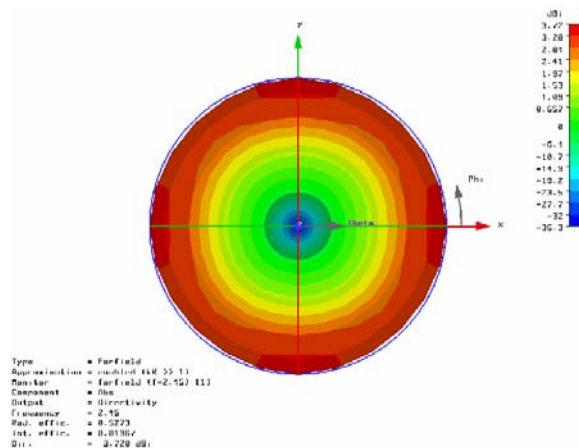
4.4 รูปแบบการวัดในระนาบต่างๆ

การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลที่วัดได้จริง

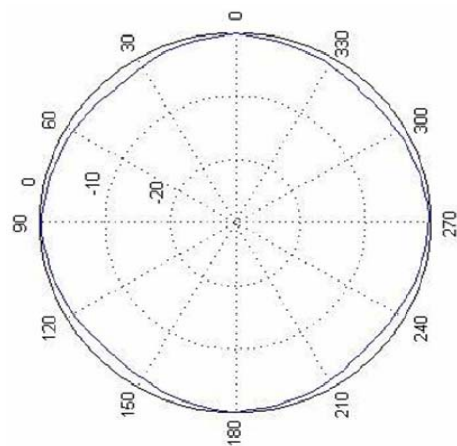
1. ระนาบ xy คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูป โดยกำหนดให้ทิศที่ 0° หันให้ตรงกับสายอากาศภาคส่งดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 รูปแบบการวัดโดยวางในระนาบ xy

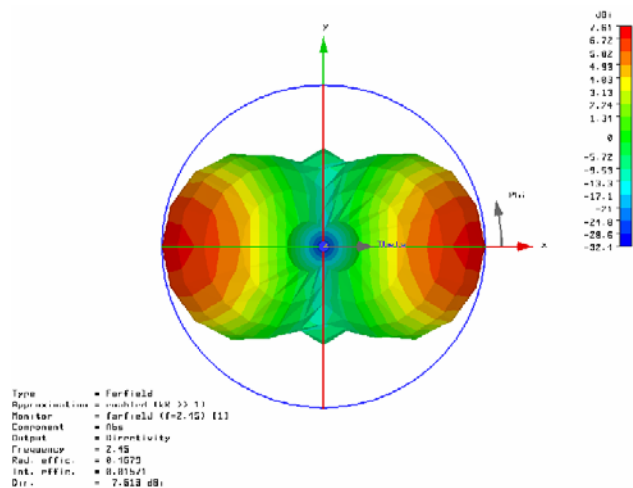


ก) ผลจากการจำลอง

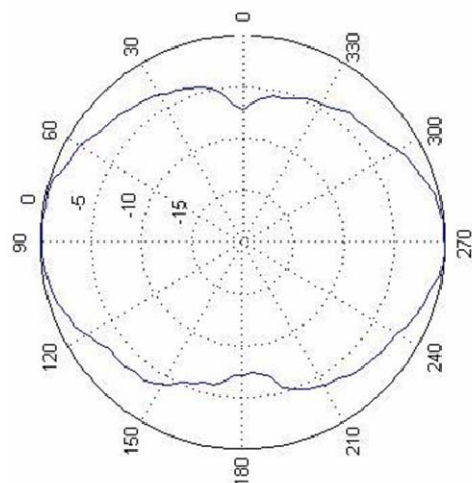


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.8 ไม่มีการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์

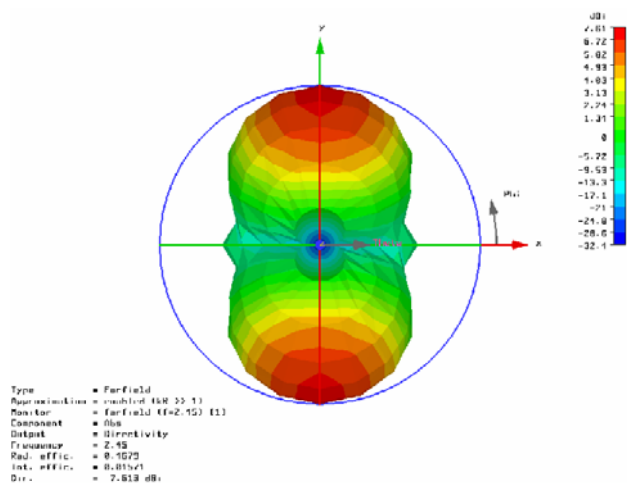


ก) ผลจากการจำลอง

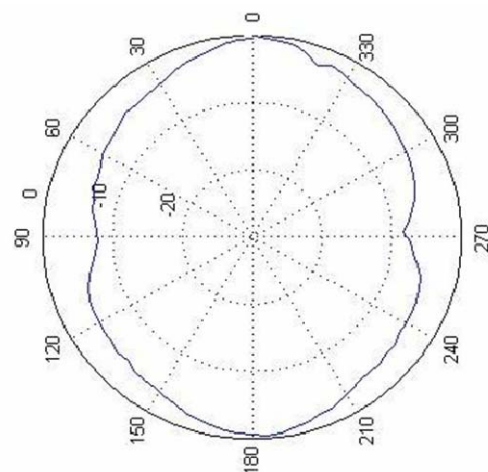


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.9 ปิดวงจรด้านบนกับด้านล่าง

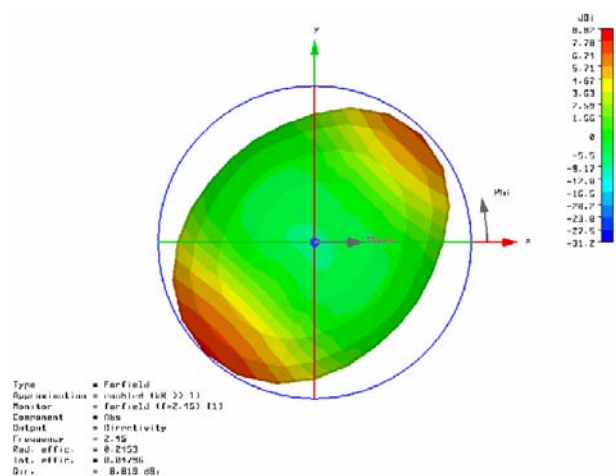


ก) ผลจากการจำลอง

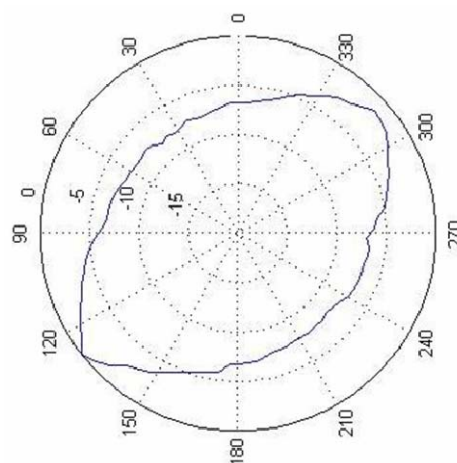


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.10 ปีกวอร์ดด้านซ้ายกับด้านขวา

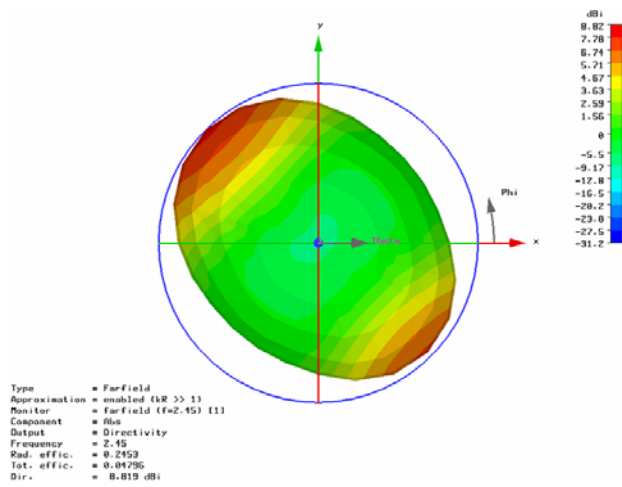


ก) ผลจากการจำลอง

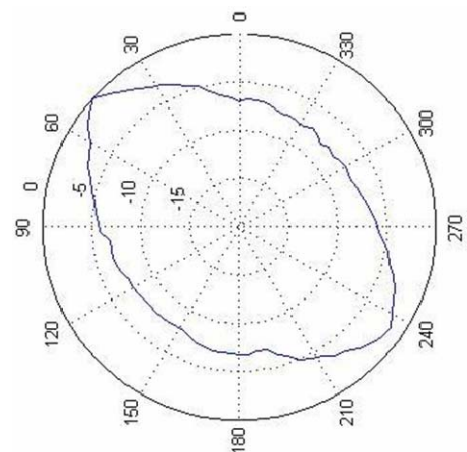


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.11 ปีกวอร์ดด้านบนกับด้านขวา

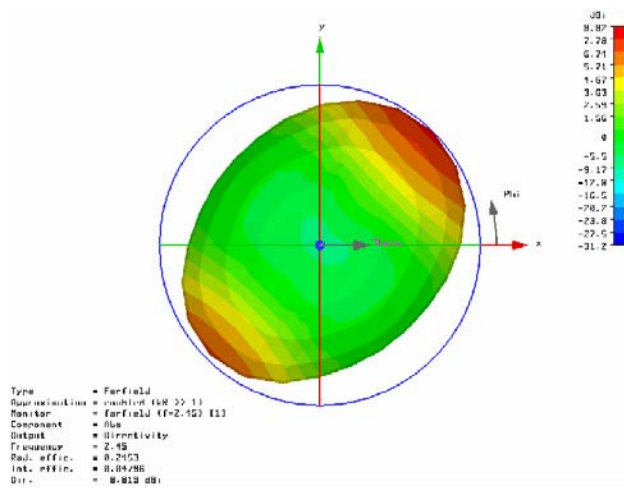


ก) ผลจากการจำลอง

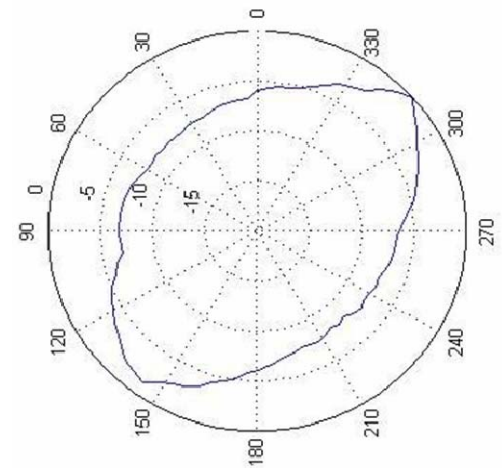


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.12 ปีกวกรด้านขวา กับด้านล่าง

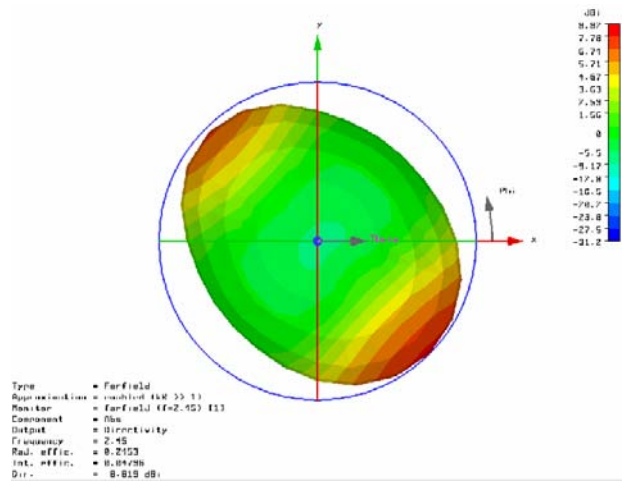


ก) ผลจากการจำลอง

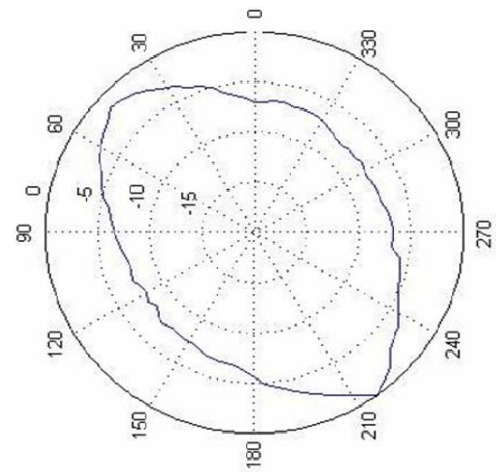


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.13 ปีกวกรด้านล่าง กับด้านซ้าย



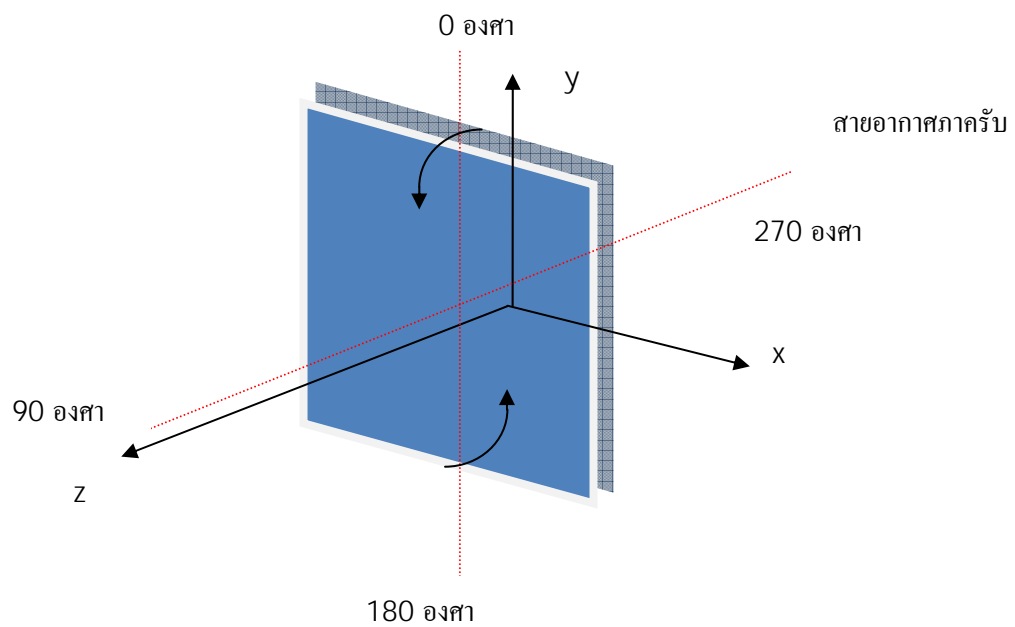
ก) ผลจากการจำลอง



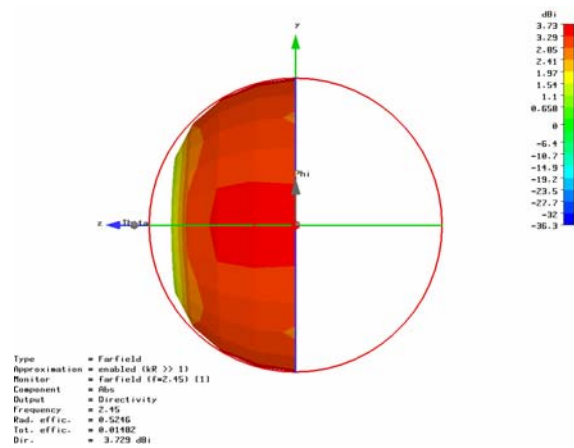
ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.14 ปีกวอร์ดด้านซ้ายกับด้านบน

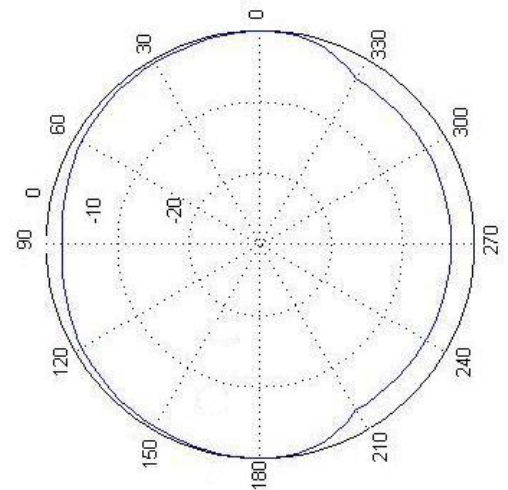
2. ระนาบ yz คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูป โดยกำหนดให้ทิศที่ 0° หันให้ตรงกับสายอากาศภาคส่งดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 รูปแบบการวัดโดยวางในระนาบ yz

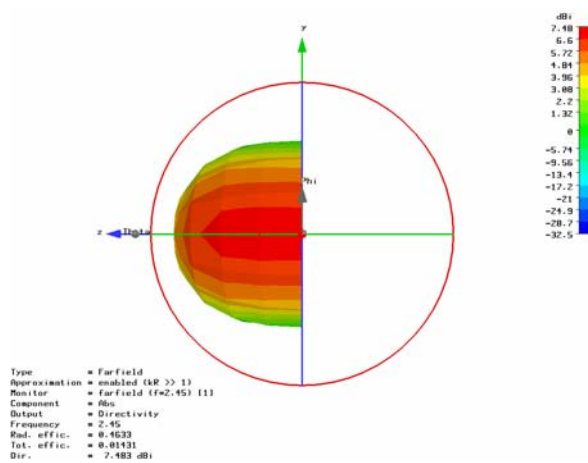


ก) ผลจากการจำลอง

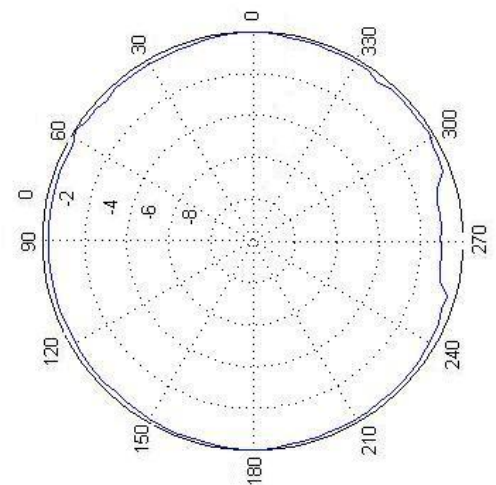


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.16 ไม่มีการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์

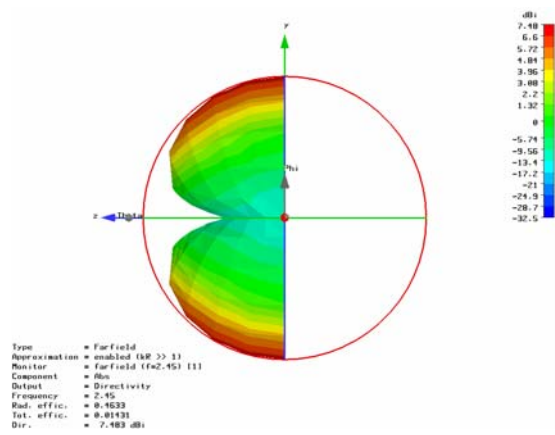


ก) ผลจากการจำลอง

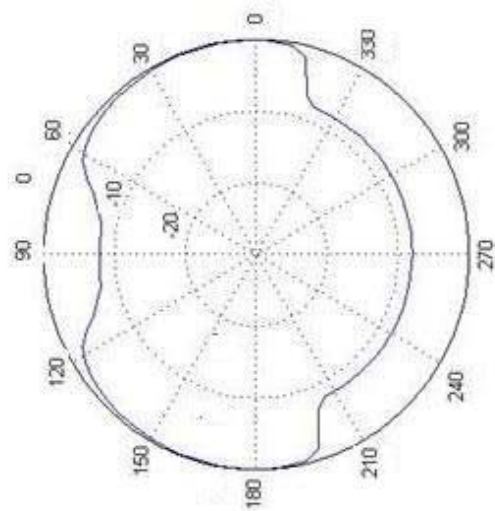


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.17 ปิดวงจรด้านบนกับด้านล่าง

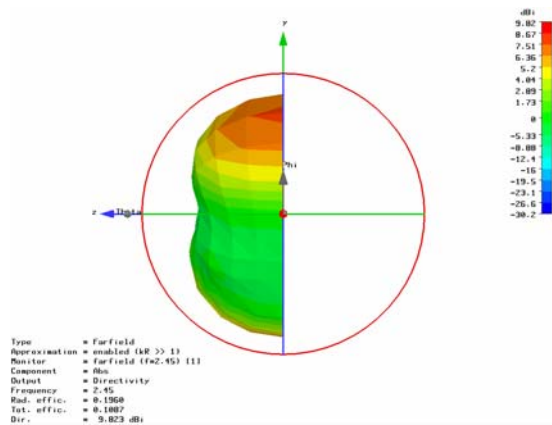


ก) ผลจากการจำลอง

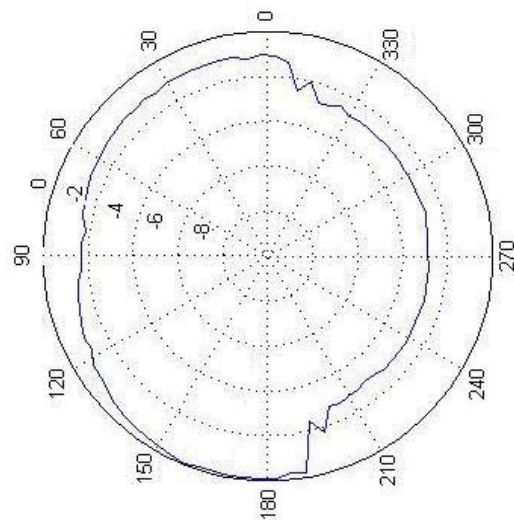


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.18 ปีกวงจรด้านซ้ายกับด้านขวา

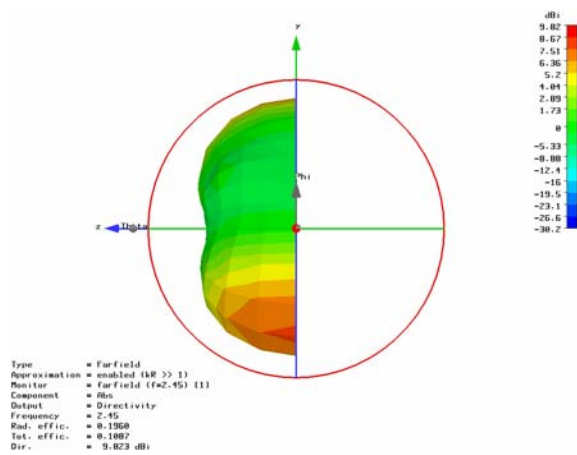


ก) ผลจากการจำลอง

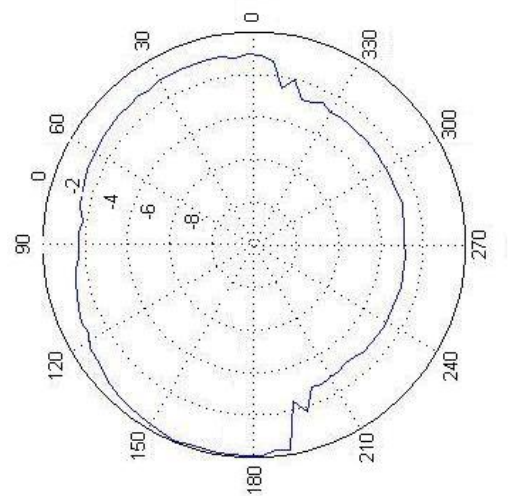


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.19 ปีกวงจรด้านบนกับด้านขวา

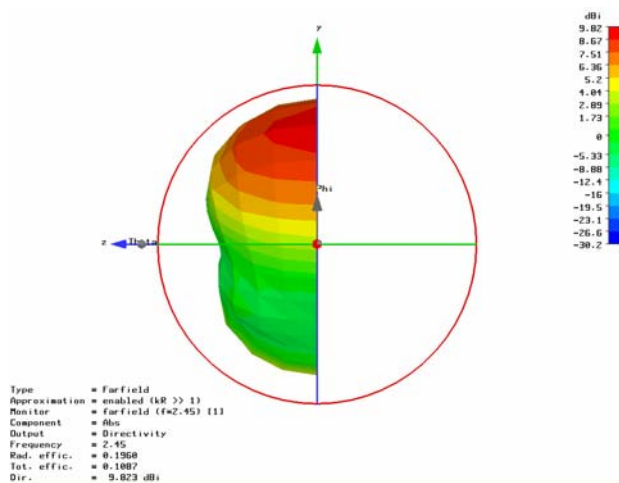


ก) ผลจากการจำลอง

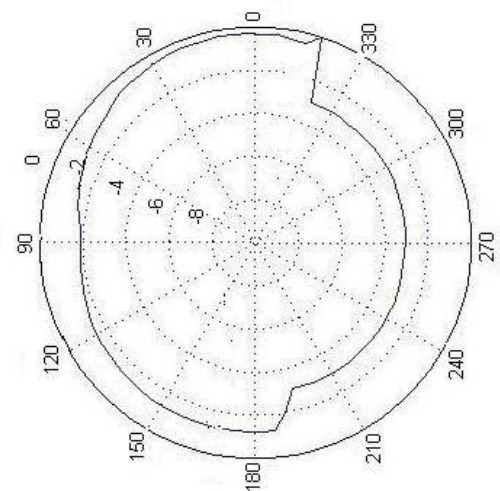


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.20 ปีกวกรด้านขวากับด้านล่าง

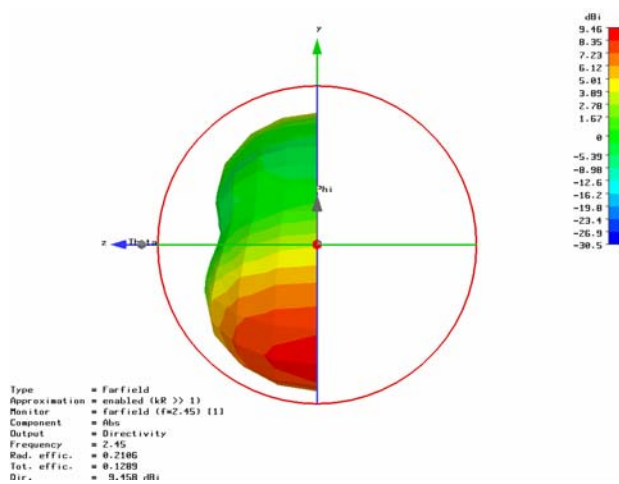


ก) ผลจากการจำลอง

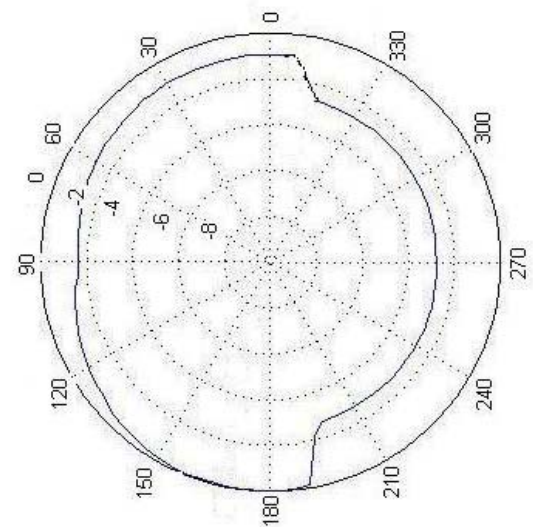


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.21 ปีกวกรด้านล่างกับด้านซ้าย



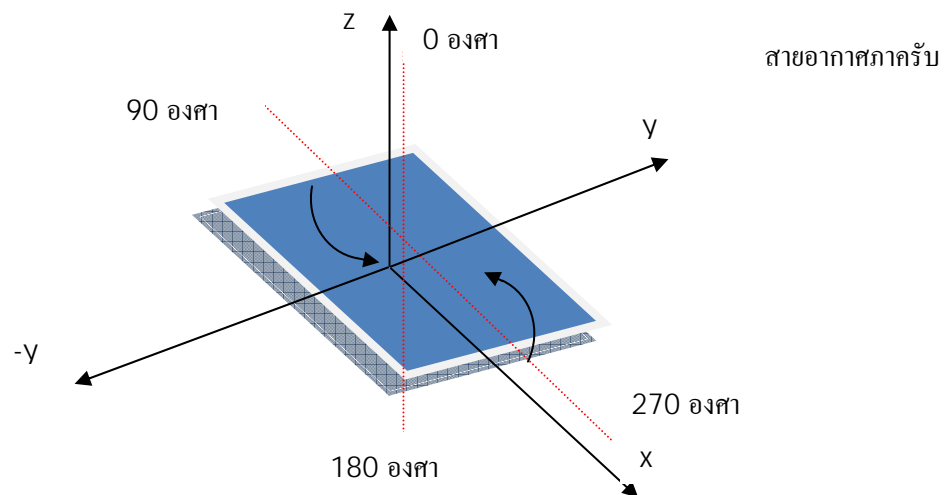
ก) ผลจากการจำลอง

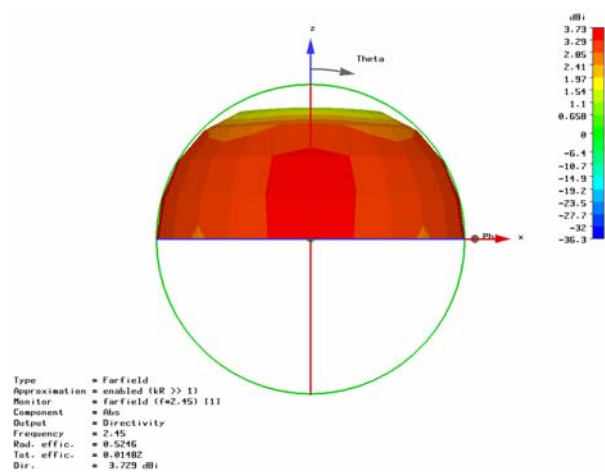


ข) ผลที่ได้จากการวัด

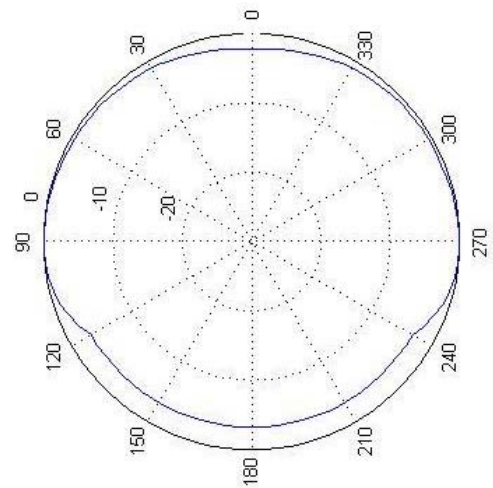
รูปที่ 4.22 ปีกวจรด้านซ้ายกับด้านบน

3. ระนาบ zx คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูป โดยกำหนดให้ทิศที่ 0° หันให้ตรงกับสายอากาศภาคส่งดังรูปที่ 4.23

รูปที่ 4.23 รูปแบบการวัดโดยวางในระนาบ zx

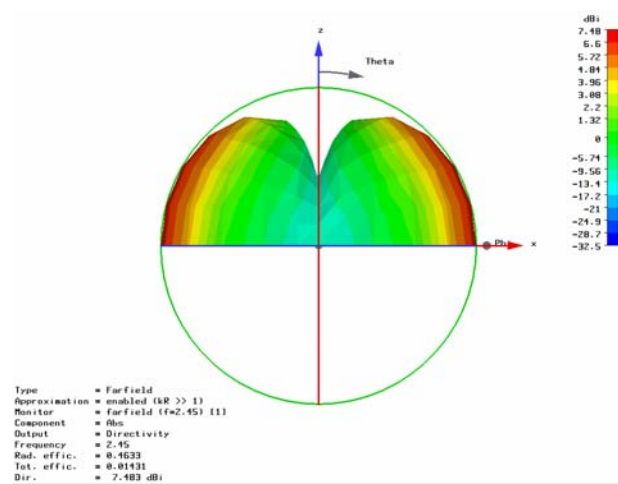


ก) ผลจากการจำลอง

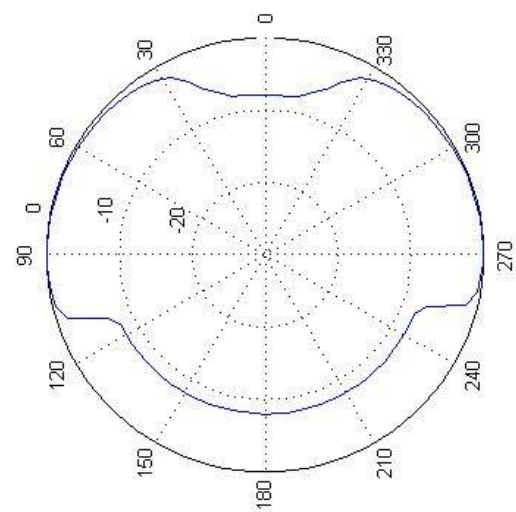


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.24 ไม่มีการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์

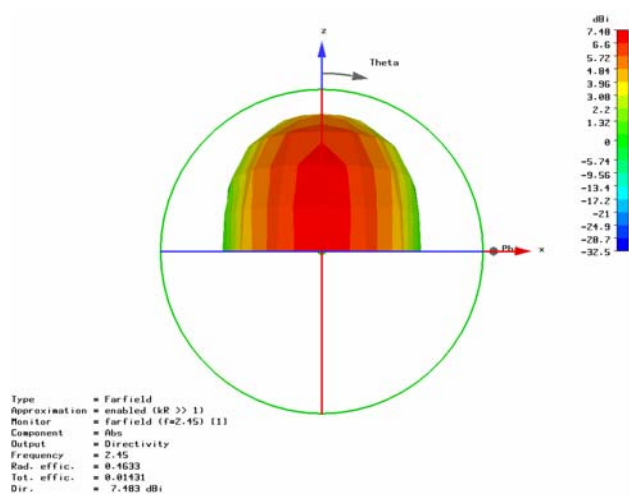


ก) ผลจากการจำลอง

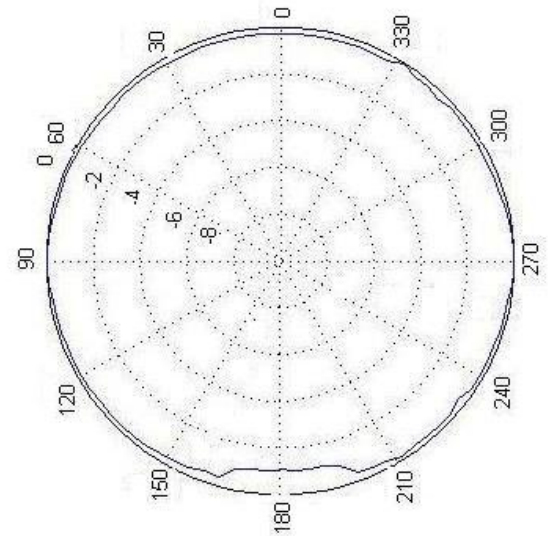


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.25 ปิดวงจรด้านบนกับด้านล่าง

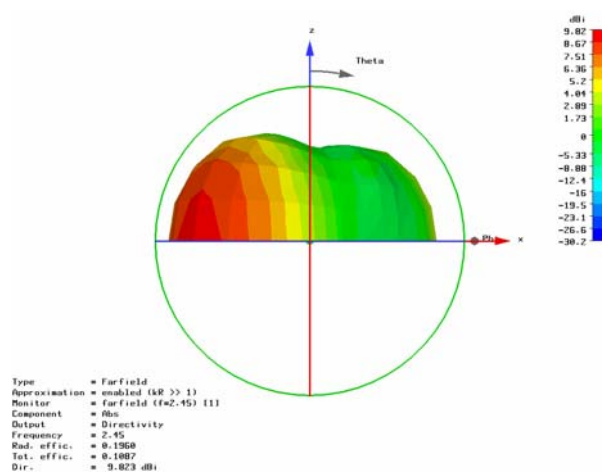


ก) ผลจากการจำลอง

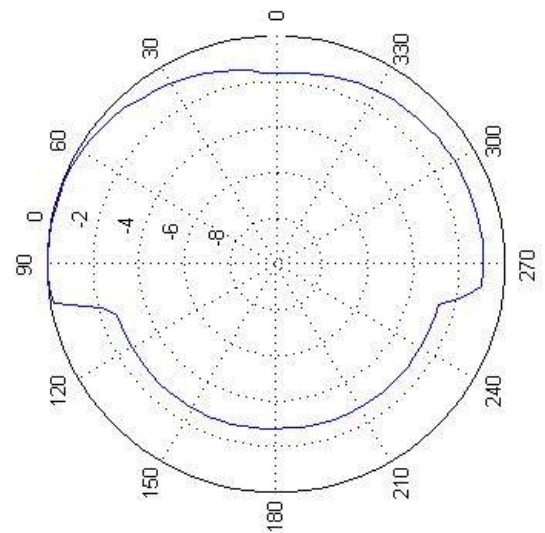


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.26 ปีกวงจรด้านซ้ายกับด้านขวา

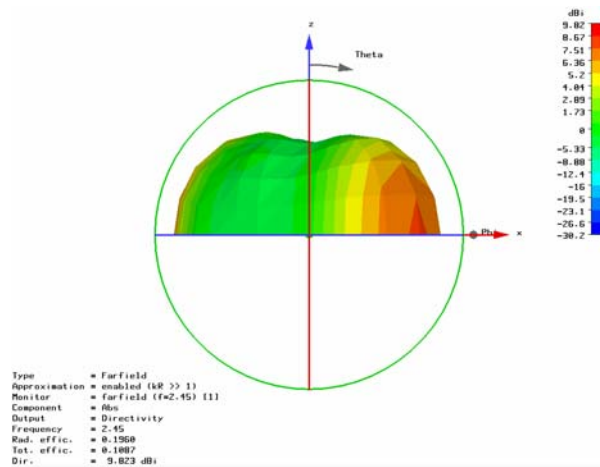


ก) ผลจากการจำลอง

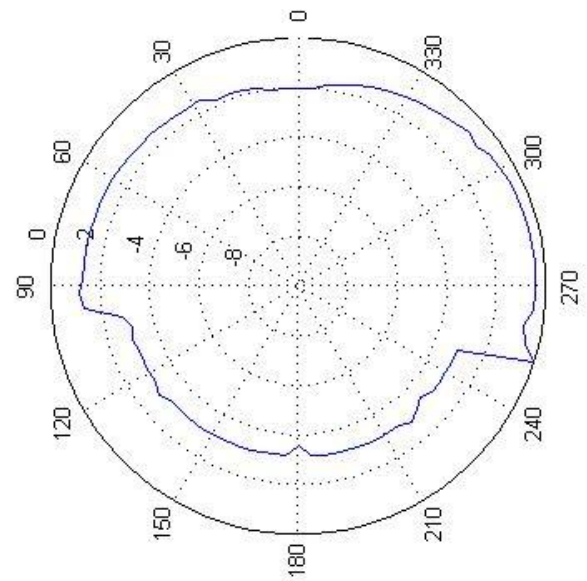


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.27 ปีกวงจรด้านบนกับด้านขวา

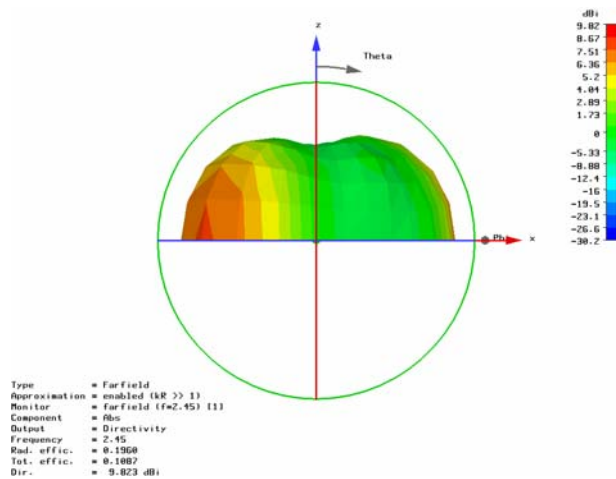


ก) ผลจากการจำลอง

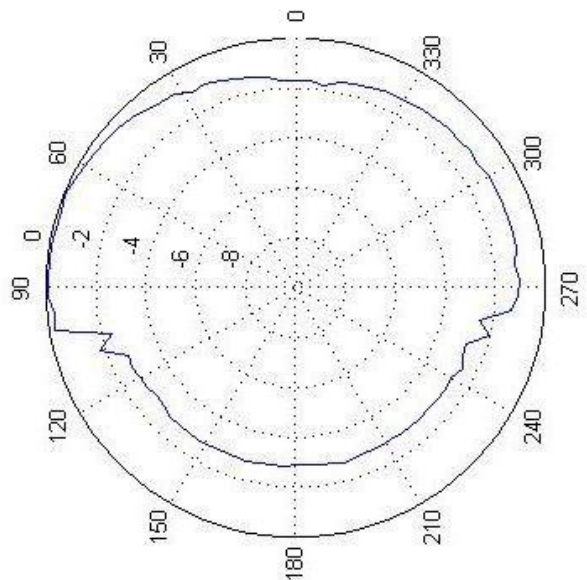


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.28 ปีกวกรด้านขวา กับด้านล่าง

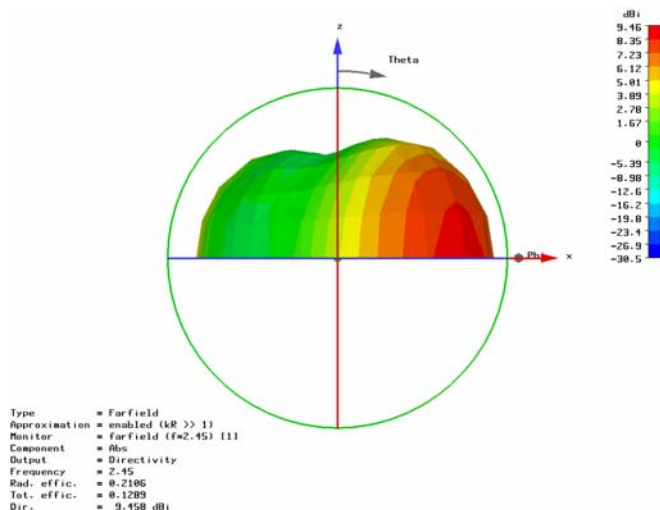


ก) ผลจากการจำลอง

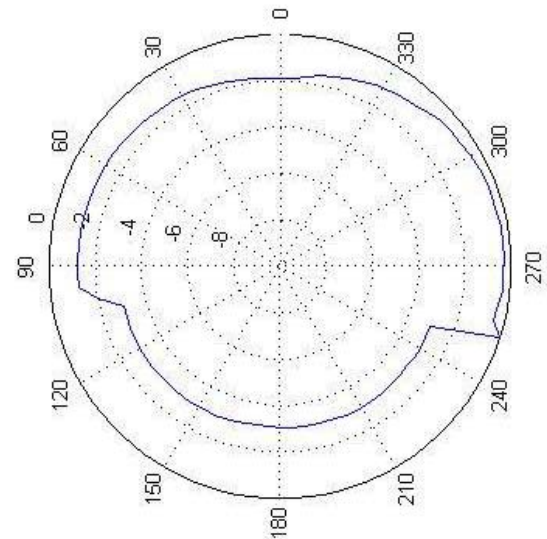


ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.29 ปีกวกรด้านล่าง กับด้านซ้าย



ก) ผลจากการจำลอง



ข) ผลที่ได้จากการวัด

รูปที่ 4.30 ปีกวจรด้านซ้ายกับด้านบน

4.5 สรุปผล

สายอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้มีคุณสมบัติที่หลากหลาย ในด้านการควบคุมทิศทางการแพร่กระจายพลังงาน โดยสามารถบังคับทิศทางได้ทั้งหมด 6 ทิศทางตามที่เราคาดหวังเพราะมีการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด 4 ตัวแต่ละตัวทำการต่อวงจรทั้ง 4 ด้านส่งผลให้สามารถควบคุมทิศทางได้ เนื่องมาจากการเพิ่มช่องว่างในสายอากาศมีผลต่อการควบคุมทิศทางของสายอากาศ ซึ่งสายอากาศต้นแบบนี้สามารถช่วยลดพลังงานด้านที่ไม่ต้องการ โดยบังคับทิศทางพลังงานในทิศทางที่เราไม่ต้องการไปเพิ่มในส่วนที่ต้องการในการแผ่กระจายพลังงานออกไป ทำให้อัตราขยายของสายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางดังกล่าว ส่งผลให้การแผ่กระจายพลังงานแผ่ได้ไกลขึ้น เนื่องจากมี บีมวิดธ์ (Beamwidth) ที่แคบ และ อัตราขยายเพิ่มขึ้น ซึ่งในแต่ละระนาบ xy , yz และ xz ซึ่งเป็นระนาบที่จำเป็นในการแสดงผลการวัดในโครงการนี้ผลที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางตามแบบจำลองผลที่เราออกแบบขึ้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โครงงานฉบับนี้เป็นการศึกษาออกแบบสายอากาศการสวิตช์ลำคลื่น โดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียวที่ย่านความถี่ 2.45 GHz และพารามิเตอร์พื้นฐานที่สำคัญของสายอากาศสำหรับใช้งานในเครือข่ายไร้สาย ได้แก่ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing-Wave Ratio หรือ SWR) ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss) และค่าอัตราขยาย (Gain)

ในโครงงานฉบับนี้ได้นำโปรแกรมแบบจำลองผล เข้ามาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศก่อนที่จะนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไปสร้างเป็นสายอากาศที่สามารถใช้งานในย่านความถี่ 2.4- 2.5 GHz ได้ โดยตัวโปรแกรมสามารถใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของสายอากาศได้ เช่น แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing-Wave Ratio ;SWR) ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss ; S_{11})

จากบทที่ 3 และบทที่ 4 เราได้ทำการสร้างสายอากาศที่ออกแบบโดยการใช้โปรแกรมแบบจำลองผล ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียวที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ด้วยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศแบบองค์ประกอบเดี่ยว ซึ่งการทดลองวัดค่าแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศและนำผลมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแบบจำลองผล จะพบว่าผลการทดสอบนั้นมีความใกล้เคียง และค่อนข้างตรงตามทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์สายอากาศ แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง อันเนื่องจากข้อจำกัดทางการคำนวณด้วยโปรแกรม และความไม่พร้อมของเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและการทดสอบ ดังนั้นจึงเกิดความไม่สะดวกอย่างมากในการทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานและความไม่สมบูรณ์ของสถานที่ทดสอบ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. มีสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแต่จากแหล่งจ่ายอื่น เข้ามารบกวน
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดภาคสนามไม่สมบูรณ์

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับสายอากาศการสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศเพียงคันเดียวที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ที่ได้ทำการออกแบบและทดสอบนี้ มีความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่คำนวณได้จากโปรแกรมจำลอง และค่าทางทฤษฎีอยู่พอสมควร ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการออกแบบด้วยทฤษฎี หรือออกแบบด้วยโปรแกรม และการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ สำหรับกรณีแรก การออกแบบสายอากาศที่ได้นั้น ควรที่จะค้นคว้าหาข้อมูลอย่างละเอียดและแม่นยำ เพื่อลดความผิดพลาด เนื่องจากการออกแบบซึ่งถือว่าเป็นจุดที่สำคัญที่สุดในการทำโครงงานใดๆ ก็ตามการทดสอบสายอากาศนั้นควรที่จะทดสอบในห้องที่มีมิติที่ไม่มีสัญญาณความถี่อื่นๆมารบกวน เพื่อลดปัญหาการบ่งหรือสะท้อนของคลื่นระหว่างสายอากาศและเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริงมากที่สุด ควรจะใช้สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบทั้งภาคส่ง และภาครับ อยู่ในความถี่เดียวกันในการวัดเพื่อบันทึกค่า นั้น ควรทำการวัดอย่างน้อย 2 ครั้ง เพื่อจะได้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง ทำให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่วัดได้ มีค่าผิดเพี้ยนไปจากการคำนวณด้วยโปรแกรม จึงควรจะมีการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] นายชิตวัน เชยสกุล และ นายสุวรรณ จันทร์อินทร์ ดันหนเรือหลวงจักรีนฤเบศร์ กองเรือบรรทุก เฮลิคอปเตอร์ กองเรือยุทธการ “เอกสารประกอบ”
- [2] ลักษณะการกระจายคลื่นของ Hansen–Woodyard End-Fire Patched Microstrip Antenna Array
- [3] นายโกวิทย์ ดังคะพิภพ การศึกษาวิธีการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ให้กับสายอากาศช่องเปิดรูป สามเหลี่ยมมุมฉาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Mr. Kowit Tangkaphiphop Study on matching impedance of right-angle slot antenna
- [4] เคนชัย วรเสวต และ รุ่งเรือง เมืองแก้ว การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับค่าแบนด์วิธ แบบอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโคร-สตริปแบบสี่เหลี่ยมที่มีโครงสร้างแบบซี่และร่อง
Denchai Worasawate and Roongruang MuangKaew A Study of Relationships between Antenna Length and Impedance Bandwidth for a Meandered Rectangular Microstrip Antenna
- [5] นายไกรสร สาริษา สายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบ แถบความถี่กว้าง 2549 วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Mr.Kraisorn Sari-kha A Broadband CPW-fed Equilateral Hexagonal Slot Antenna 2006 Electrical Engineering King Mongkut’s Institute of Technology North Bangkok
- [6] บทความเรื่องสายอากาศแบบปรับเฟสของอีลิเมนต์แบบสวิตช์ลำดับชั้น ของ นายไพศาล งามจรรยา-ภรณ์
Paisan Ngamjanyaporn A Phased Array Antenna Of A Switched – Beam Elements A Thesis Submitted In Partial Fulfillment Of The Requirement For The Degree Of Doctor Of Engineering In Electrical Engineering School Of Graduate Studies King Mongkut’s Institute Of Technology Ladkrabang 2005